UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CASSINO

Facoltà di Ingegneria

Tesi di Dottorato di Ricerca
in Ingegneria Meccanica

Problematiche di Applicazione della Direttiva MID sugli Strumenti di Misura. Riferibilità Metrologica e Prove di Laboratorio

Tutor:
Prof. Paolo Vigo

Coordinatore:
Prof. Domenico Falcone

Candidato
Ing. Giorgio Ficco

Anno Accademico 2006-2007

0. Indice

1. Introduzione

La Direttiva 2004/22/EC sugli Strumenti di Misura (Direttiva MID), pubblicata nel 2004 e definitivamente recepita in Italia agli inizi del 2007, rappresenta un epocale passo in avanti che l'Europa realizza nel settore della metrologia, secondo solo all'adozione del Sistema Internazionale delle Unità di Misura, SI, avvenuta nel 1969 (con recepimento in Italia solo nel 1982).
L'adozione a livello internazionale del SI ha infatti rappresentato il naturale completamento di un lungo e vincente processo che dal Sistema Metrico Decimale della Rivoluzione Francese (1793) ha portato, tramite la Convenzione del Metro e la definizione dei campioni Internazionali delle Unità di Misura (1875 e 1921), allo sviluppo dei vari sistemi nazionali di taratura (in Italia con la Legge 273 del 1991) e agli accordi vigenti di mutuo riconoscimento, fino alla uniformità e universalità di metodi di misura e prova in Europa e nel mondo intero, che è la testimonianza più eclatante della forza delle idee illuministe.
La Direttiva MID fa parte di un gruppo di Direttive cosiddette del "*nuovo approccio*" e regola gli strumenti di misura utilizzati per scopi commerciali e con usi metrico-legali, specificando regole tecniche certe e condivise (prove e limiti di accettabilità) per 10 tipologie di strumenti "legali", scelti in settori tipici della moderna società quali: contatori dell'acqua, contatori del gas e dispositivi di *city utilities* di conversione del volume, contatori di energia elettrica attiva, contatori di calore, sistemi di misura per liquidi diversi dall'acqua, sistemi per pesare a funzionamento automatico, tassametri, misure materializzate di lunghezza e capacità, strumenti di misura della dimensione, analizzatori di gas di scarico. Come si può notare, quelli descritti nella MID sono tutti strumenti che accompagnano il cittadino europeo nella sua giornaliera interazione con i fornitori, pubblici e privati, di beni e servizi e con la pubblica amministrazione.
La MID può quindi rappresentare per le differenti tipologie di strumenti riconosciuti "legali", seppure con diversi risvolti applicativi e temporali,

un'occasione unica per il mondo della strumentazione e della metrologia italiana ed europea e può influenzare positivamente la spinta per la realizzazione delle catene di riferibilità in settori nuovi e oggi non ancora pienamente codificati (metrologia chimica, dell'ambiente e dell'energia), adottando per questi regole e metodologie uniformi.

Nello specifico, il *nuovo approccio* per la dichiarazione di conformità, (i.e. l'immissione sul mercato) impone infatti per le suddette 10 categorie di strumenti, requisiti essenziali definiti e legati alla tipologia della misura piuttosto che alle caratteristiche costruttive e tecnologiche degli strumenti. Questi ultimi infatti sono soggetti a continua evoluzione di componenti e principi, il che ha spesso determinato, specie negli ultimi anni, un progressivo e continuo potenziale disallineamento tra norme e tecnologie, specie quando i limiti imposti dalle regole metriche legali erano basati principalmente sulle caratteristiche costruttive e non sulle prestazioni metrologiche dello strumento.

La MID, nell'imporre regole metriche uniformi nel mercato globale, con il fine ultimo di fornire al cittadino europeo una uniformità di "*garanzie transattive*" nella sua interazione con i fornitori, introduce quindi un metodo "*prestazionale*" nelle verifiche metrologiche degli strumenti ad uso legale. Questo metodo, nella sua praticità, senza dubbio influenzerà positivamente il superamento delle consolidate e farraginose norme metriche attualmente vigenti nei diversi Stati Membri. Tutto ciò consentirà di ridurre nel futuro le modifiche alla direttiva per adeguarla al progresso tecnico degli strumenti.

Le attuali normative metrico-legali, come detto, sono oggi spesso impostate sulle caratteristiche costruttive degli strumenti piuttosto che sulle prestazioni, con una continua necessità di "inseguire" le modifiche e le evoluzioni tecnologiche nei decreti autorizzativi, per evitare che variazioni costruttive, anche non influenti dal punto di vista metrologico, fossero spunto per "illegalità" talvolta pretestuosamente contestate dai verificatori.

In aggiunta a questo, una ulteriore innovazione contenuta nella MID è quella di codificare numerosi possibili scenari operativi per la dichiarazione di conformità

da parte dei Fabbricanti Metrici, così da consentire ad essi di scegliere quello più adatto alle proprie dimensioni ed alla propria capacità e struttura organizzativa, con la possibilità di impiegare sistemi di garanzia della qualità che rafforzano il ruolo e la responsabilità del fabbricante.
Tutto questo fa sì, come detto, che le nuove procedure di approvazione di modello e verifica prima possano adattarsi, sia alla piccola industria artigianale, che alla grande multinazionale, consentendo a ciascuna impresa di scegliere il percorso da essa ritenuto più idoneo alle proprie specificità.
La MID rappresenta quindi una rivoluzione, non solo perché come già evidenziato non ci si lega al principio fisico dello strumento, lasciando ampio spazio all'evoluzione scientifica e tecnologica, ma anche perché questo consente alle diverse "*filiere*" interessate, più o meno consolidate dal punto di vista strettamente metrologico, di adeguarsi e costruire le proprie catene di riferibilità metrologica necessarie alle verifiche "legali" con principi e tecniche moderne, agili ed adeguate al continuo sviluppo dei mercati e della tecnica.
Tra gli Stati Membri è inoltre previsto il reciproco riconoscimento e la condivisione delle informazioni relative alle procedure seguite ed ai risultati della valutazione della conformità, e l'adozione di opportuni strumenti di controllo e salvaguardia dei mercati.
Va evidenziato, infine, che la MID non impone nessuna regola sulle verifiche periodiche degli strumenti metrico-legali, lasciando a ciascuno Stato Membro la libertà di stabilire le proprie, al fine di garantire la continuità con le norme nazionali vigenti in materia. D'altra parte non c'è dubbio che la MID vada rapidamente completata ed integrata con simmetriche regole di verifica periodica in campo, ispirate anch'esse a metodi *prestazionali*, stabilendo per esempio, errori massimi permessi doppi rispetto a quelli della verifica prima, come spesso stabilito dalle attuali norme specifiche di alcuni settori metrico-legali.
Lo scenario applicativo che potrebbe concretizzarsi nella metrologia legale italiana, fatti salvi i settori consolidati, quali quelli della metrologia della massa e dei volumi che possono con poco sforzo adeguarsi, è quello di un'occasione

irripetibile per attuare uno sforzo sinergico di organizzazione e confronto tra le diverse anime della metrologia (scientifica, industriale e legale). Tutto questo deve essere garantito in uno scenario di profonda armonizzazione e di garanzia della riferibilità metrologica soprattutto per le contabilizzazioni dei consumi di acqua, gas, energia elettrica e calore (*utility meters*) dove sono in gioco numeri importanti sia in termini di contatori installati che di entità economica delle transazioni; ma questo vale ancor più per settori fino ad oggi mai ben regolati dalla metrologia legale quali tassametri ed analizzatori di gas di scarico.
Tutti questi eventi si sposano con la recente nascita dell'Istituto Nazionale per la Ricerca Metrologica, INRIM che diventa finalmente attore (quasi) unico per la riferibilità e che, grazie anche alla MID, può assumere un ruolo centrale per un attento ed armonico sviluppo di tutto il settore della metrologia e della strumentazione italiana.
Nel prosieguo del presente lavoro di tesi per alcune delle categorie di strumenti MID verranno illustrati e dettagliati gli aspetti metodologici di laboratorio da adottare per garantire la correttezza delle operazioni di verifica ai fini della dichiarazione della conformità (definizione della corretta riferibilità metrologica, descrizione degli impianti di verifica e delle relative procedure, scelta dei campioni, tecniche di elaborazione sperimentale dei dati).
Le categorie di strumenti analizzate sono la MI-002 (gas), MI-003 (energia elettrica), MI-004 (calore), MI-005 (volumi di carburanti) e MI-007 (tassametri), e rappresentano il risultato della partecipazione del candidato a numerosi progetti di ricerca nel settore della metrologia legale (tra cui il programma di ricerca interuniversitario PRIN 2004 "*Metodologia di attuazione della direttiva MID strumenti di misura*", in collaborazione con le Università di Genova, Padova, Napoli Federico II, Politecnico di Milano, Ancona, Perugia e L'Aquila).
Verrà data inoltre attenzione agli aspetti trasversali collegati all'applicazione della MID ed in particolare alle opportunità di ottimizzazione dei processi metrico-legali offerte dalle tecnologie informatiche (progetto di ricerca "*Antenna Metrologica"* finanziato dal MIUR al Palmer, Parco Scientifico e Tecnologico del

Lazio Meridionale, e sviluppato in collaborazione con Università di Cassino, l'Istituto Metrologico IMGC di Torino - oggi INRIM – il SIT Servizio Italiano di Taratura e la società Themis Srl di Torino).

Capitolo 2

La Direttiva MID sugli Strumenti di Misura

La Direttiva 2004/22/CE del 31/03/2004 sugli Strumenti di Misura (universalmente nota come *Direttiva MID*) [1] è stata approvata in via preliminare dal Consiglio dei Ministri italiano il 27.10.06, e recepita in Italia con il DL n. 22 del 2 febbraio 2007 "*Attuazione della direttiva 2004/22/CE relativa agli strumenti di misura*" (pubblicato sulla GU n. 64 del 17-3-2007- Suppl. Ordinario n. 73) [2].
Essa rappresenta il primo importante sforzo di armonizzazione e di modernizzazione del settore della Metrologia Legale.
La Metrologia Legale, infatti, ha regolato per un lungo periodo principalmente le transazioni commerciali basate sulle misure di lunghezza, massa e volume, tipiche dei contesti agricoli e delle società borghesi degli scorsi secoli. Oggi, consolidate ed aggiornate le norme in questi settori classici (ad esempio introducendo i sistemi automatici di pesatura, i misuratori dinamici di liquidi diversi dall'acqua), si aprono nuovi ed importanti orizzonti metrologici quali la metrologia chimica, la metrologia ambientale e quella dell'energia (sia elettrica che termica).
L'attuale sistema della Metrologia Legale, per le dichiarazioni di conformità e per le verifiche (sia prime che periodiche) opera con procedure non sempre armonizzate (in alcuni casi diverse anche a livello nazionale) e con strumenti operativi spesso non proporzionati alla delicatezza delle operazioni ed alla mole di lavoro. Ciò è parzialmente vero anche per quegli strumenti già disciplinati dalle raccomandazioni tecniche OIML [3], *Organizzazione Internazionale per la Metrologia Legale*, e per i quali risultano disponibili procedure tecniche standardizzate.
In aggiunta a ciò, il naturale decadimento nel tempo delle caratteristiche metrologiche, differente per ciascun tipo di strumento e modello, deve essere accettato e condiviso come regola generale e non può essere trascurato.

La Direttiva MID si inserisce nel contesto delle Direttive comunitarie cosiddette del "*Nuovo Approccio*" e regolamenta la produzione, la diffusione ed il controllo degli strumenti metrici, a tutela della fede pubblica e della correttezza nelle determinazioni quantitative alla base di un numero assai elevato di scambi commerciali (stimato circa pari al 10% del PIL nazionale).

Obiettivo principale della MID è garantire pari opportunità ai costruttori di strumenti metrici attraverso l'abbattimento di ogni tipo di barriera commerciale alla diffusione dei loro prodotti in ambito comunitario, pur stabilendo requisiti essenziali sia per la libera circolazione sia per l'adeguatezza dell'utilizzo previsto, secondo principi di flessibilità e neutralità tecnologica.

Nel contesto sopra descritto, la MID introduce un nuovo approccio per la dichiarazione di conformità. imponendo requisiti essenziali definiti e legati al tipo di misura piuttosto che alle caratteristiche degli strumenti. Questi, infatti, sono soggetti alla continua evoluzione di componenti e principi di misura, determinando così un potenziale disallineamento tra norme e tecnologia, qualora i limiti imposti fossero basati solo sulle caratteristiche costruttive.

Il recepimento dei principi della MID consente infatti di limitare, sia a livello nazionale che internazionale, la proliferazione di leggi, norme e decreti, di procedure e raccomandazioni tecniche, che oggi rallenta i processi della Metrologia Legale e che determina oggettive difficoltà per tutti gli attori del sistema.

La MID, infine, non impone nessuna regola sulle verifiche periodiche degli strumenti durante il servizio, lasciando a ciascuno Stato Membro la libertà di stabilire le proprie, anche al fine di garantire la continuità con le norme nazionali in materia.

Nell'allegato I la MID descrive il nuovo approccio per tutti gli strumenti di misura utilizzati per scopi commerciali e aventi carattere metrico-legale specificando al contempo regole tecniche certe e condivise (inclusi i limiti di accettabilità) per 10 tipologie più diffuse, scelte in settori tipici della nostra società:

- contatori dell'acqua (MI 001),
- contatori del gas e i dispositivi di conversione del volume (MI 002),

- contatori di energia elettrica attiva e trasformatori di misura (MI 003)
- contatori di calore (MI 004),
- sistemi di misura per la misurazione continua e dinamica di quantità di liquidi diversi dall'acqua (MI 005),
- strumenti per pesare a funzionamento automatico (MI 006)
- tassametri (MI 007)
- misure materializzate (MI 008)
- strumenti di misura della dimensione (MI 009)
- analizzatori dei gas di scarico (MI 010).

L'Allegato I: Requisiti Essenziali

La Direttiva MID stabilisce che "*lo strumento di misura deve garantire un elevato livello di tutela metrologica affinché le parti possano reputare affidabile il risultato della misurazione; la progettazione e la fabbricazione dello strumento di misura debbono essere di elevata qualità per quanto riguarda le tecnologie di misurazione e la sicurezza dei dati da misurare*".
Nell'allegato I sono definiti i requisiti cui gli strumenti di misura debbono conformarsi per conseguire tali obiettivi, completati, se del caso, dai requisiti specifici dello strumento riportati negli allegati da MI-001 a MI-010, in cui si illustrano in modo più dettagliato alcuni aspetti tecnici specifici.
I requisiti essenziali descritti dalla Direttiva sono rappresentati da errori tollerati, riproducibilità, ripetibilità, discriminazione e sensibilità, durabilità, affidabilità, idoneità, protezione dall'alterazione, iscrizioni ed informazioni, indicazioni del risultato, ulteriore elaborazione dei dati. Ciascun requisito essenziale viene descritto nella Direttiva ed il Fabbricante deve dichiarare come il proprio strumento soddisfa i suddetti requisiti, ove applicabili: "*...il rispetto dei requisiti essenziali (e di quelli tecnici di ciascun allegato) consente l'immissione sul mercato e la messa in servizio*".

Il Fabbricante può decidere di utilizzare qualsiasi soluzione tecnica conforme ai *requisiti essenziali* di cui all'allegato I e nelle pertinenti norme (da MI-001 a MI-010). Inoltre, per beneficiare della *presunzione di conformità*, deve applicare correttamente le soluzioni menzionate nelle pertinenti norme armonizzate europee o alle parti corrispondenti dei documenti normativi e degli elenchi di cui ai par. 1 e 2 (che descrivono il campo di applicazione della Direttiva MID).
Le soluzioni adottate dal Fabbricante al fine di rispondere ai requisiti devono tenere conto dell'impiego cui lo strumento è destinato, nonché di prevedibili impieghi scorretti dello strumento medesimo. Tra i requisiti essenziali si citano espressamente oltre agli errori massimi tollerati anche le "*grandezze d'influenza*", riconoscendo che in presenza di un loro contributo la misura metrico-legale deve comunque garantire adeguate prestazioni metrologiche.
In particolare il Fabbricante deve specificare gli ambienti climatici, meccanici ed elettromagnetici in cui lo strumento è destinato ad essere impiegato.
Questo significa che lo strumento dovrà dimostrare di resistere a particolari condizioni estreme di funzionamento (dichiarate dal fabbricante in funzione dell'ambiente di destinazione), non solo dal punto di vista dell'integrità esteriore e di funzionamento, ma anche dal punto di vista delle prestazioni metrologiche che non dovranno mostrare un decadimento superiore ai massimi errori permessi o a valori critici opportunamente definiti negli allegati specifici.
In questo ambito, durante il presente lavoro di tesi, è stato progettato, sperimentato e validato un metodo di prova ufficiale, sottoposto recentemente a verifica di accreditamento SINAL [4], Sistema Nazionale per l'Accreditamento dei Laboratori,, per la dimostrazione della conformità degli strumenti di misura agli ambienti climatici severi in termini di caldo, freddo e caldo umido.

	Limiti di temperatura			
Limite superiore di temperatura	30 °C	40 °C	55 °C	70 °C
Limite inferiore di temperatura	5 °C	– 10 °C	– 25 °C	– 40 °C

Tabella 2.1. - Classi climatiche della Direttiva MID

In riferimento alle classi di cui alla tabella 1 par. 1.3.1 allegato I della direttiva MID, presso il laboratorio LAMI dell'Università di Cassino, già centro SIT [5] Servizio Italiano di Taratura, con il n.105 per umidità e temperatura di rugiada, e presso il Palmer, Parco Scientifico e tecnologico del Lazio Meridionale, nell'ambito di un programma quadro di gestione congiunta di attività di laboratorio, è stata sottoposta a verifica di accreditamento SINAL secondo la ISO 17025:2005 la prova descritta nella tabella che segue:

n°	Materiale / Prodotto / Matrice	Misurando / Proprietà misurata / Denominazione della prova	Campo di misura e/o di prova (1)	Tecnica di prova (2)	Metodo di prova ed anno di emissione (3)	Rev. (4)	Cat. (5)
12	Strumenti di Misura	Ambienti climatici e Umidità ambiente (calore umido stabile e calore umido ciclico)	–40 // +180 °C umidità rel. 20 // 80 %UR (nel campo 5÷85 °C) campioni in prova contenuti nel volume di misura 2 m3 (1000 L x 1000 H x 2000 P)		Direttiva MID Strumenti di Misura 2004/22/CE del 31/03/2004 par. 1.3.1 e 1.4.2 + Metodo Interno PT.02/Unilab Rev. B	0	0

Tabella 2.2. - Prova SINAL per "ambienti climatici" descritta nella Direttiva MID

Entro breve, quindi, presso i laboratori del LAMI e del Palmer potranno essere emessi rapporti di prova accreditati SINAL per la determinazione della resistenza degli strumenti di misura agli ambienti climatici descritti nella MID.

Il requisito di accreditamento SINAL della prova è oggi l'unico applicabile in Italia per qualificare il processo di dichiarazione della conformità di uno strumento di misura in ambito MID, e, nell'ambito degli accordi di mutuo riconoscimento in ambito EA (*European Accreditation for Laboratory)* [6], il certificato emesso ha validità sull'intero territorio comunitario.

Nella immagine che segue si riporta il layout di prova per la verifica della resistenza agli ambienti climatici severi ed ai cicli di caldo-umido (con umidità condensante o non condensante), con in primo piano la camera climatica per la

riproduzione degli ambienti climatici (stazionari e ciclici) e la strumentazione ausiliaria di controllo utilizzata (misuratori di temperatura ed umidità).

Figura 2.1. - Layout di prova per gli ambienti climatici del Laboratorio LAMI Unilab c/o l'Università di Cassino

In funzione dell'ambiente climatico di funzionamento in cui lo strumento è destinato ad essere impiegato, possono essere appropriate sia la prova di calore umido stabile (in assenza di condensazione) sia la prova di calore umido ciclico (con condensazione). La prova di calore umido ciclico è invece appropriata nei casi in cui vi sia un'elevata condensazione o in cui la penetrazione di vapore acqueo sia accelerata per effetto della respirazione. Qualora l'umidità non condensata costituisca un fattore, è appropriata la prova di calore umido stabile.
I requisiti essenziali specificati sono oggetto di verifica per ciascuna grandezza d'influenza pertinente e, salvo disposizioni diverse contenute negli allegati tecnici

specifici, si applicano quando ciascuna grandezza d'influenza è applicata separatamente e il suo effetto è valutato separatamente, mantenendo tutte le altre grandezze d'influenza relativamente costanti, al valore di riferimento.
Le prove metrologiche devono essere effettuate durante o successivamente all'applicazione della grandezza d'influenza, indipendentemente dalla condizione che corrisponde alla situazione normale di funzionamento dello strumento nel momento in cui è probabile che si manifesti la grandezza d'influenza.

La Dichiarazione della Conformità

Prima della entrata in vigore della Direttiva MID, un Fabbricante che intendeva mettere in servizio uno strumento di misura doveva attuare i passi descritti nel diagramma di flusso di cui alla tabella successiva [7]:

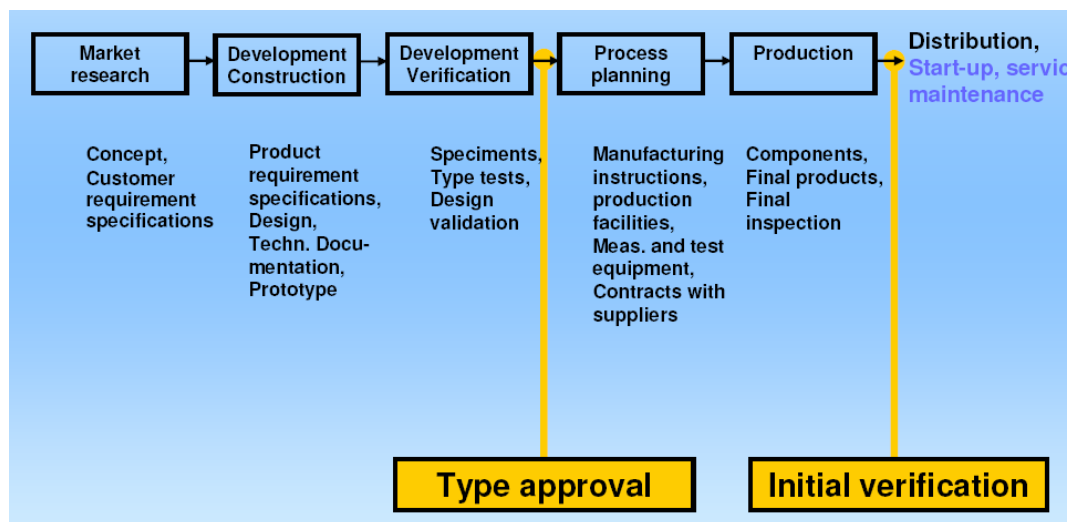



Figura 2.2. - Messa in Servizio di uno Strumento Metrico Legale prima della MID

I momenti principali erano quindi rappresentati dall'esame ufficiale del modello (progetto) e dalla verifica iniziale (normalmente per ciascuna unità prodotta) da

effettuarsi prima della messa in servizio. A valle della messa in servizio lo Stato Membro stabiliva anche le regole per la verifica periodica in servizio.

La vera innovazione della MID è stata quella di codificare vari possibili scenari operativi per la dichiarazione di conformità da parte dei Fabbricanti Metrici, consentendo loro di scegliere lo schema più adatto (in funzione di classe e tipo di strumento, della dimensione dell'azienda e della tipologia del sistema di gestione per la qualità adottato). Il Fabbricante, prima di immettere uno strumento sul mercato comunitario per gli utilizzi previsti dalla Metrologia Legale, deve sottoporlo ad una delle procedure di valutazione della conformità previste dalla direttiva per quella categoria di strumenti. Le procedure di valutazione della conformità sono strutturate per "moduli" (*approccio globale*):

1. esame del tipo (B), da applicarsi insieme ad uno degli schemi seguenti
   - garanzia della qualità del processo di produzione (D)
   - garanzia qualità ispezione e delle prove effettuate sul prodotto finale (E)
   - verifica del prodotto (F)
2. in alternativa uno schema tra:
   - controllo di produzione interno e prove realizzate da un organismo notificato (A1),
   - garanzia della qualità del processo di produzione (D1),
   - garanzia della qualità dell'ispezione e delle prove effettuate sul prodotto finale (E1),
   - verifica del prodotto (F1),
   - verifica di un unico prodotto (G),
   - garanzia di qualità totale (H),
   - garanzia di qualità totale ed esame del progetto (H1).

In aggiunta a quanto sopra la MID descrive anche la procedura di dichiarazione di conformità con solo controllo di produzione interno (A) e con controllo di produzione interno e prove realizzate da un organismo notificato (C/C1).

Nelle pagine che seguono si riporta una tabella con l'indicazione degli schemi di dichiarazione di conformità applicabili secondo la Direttiva MID e delle 10 categorie di strumenti MID a cui essi possono applicarsi.

Tabella 2.3. - Schemi di Dichiarazione di Conformità secondo la Direttiva MID

		A	A1	B +					D1	E1	F1	G	H	H1
				C	C1	D	E	F						
MI-001	Contatori dell'acqua													
MI-002	Contatori del gas e i dispositivi di conversione del volume													
MI-003	Contatori di energia elettrica attiva e trasformatori di misura													
MI-004	Contatori di calore													
MI-005	Sistemi di misura per la mis. continua e dinamica di liquidi diversi da acqua													
MI-006	Strumenti per pesare a funzionamento automatico meccanici													
	Strumenti per pesare a funzionamento automatico elettromeccanici													
	Strumenti per pesare a funzionamento automatico elettronici o con SW													
MI-007	Tassametri													
MI-008	Misure materializzate di lunghezza													
	Misure materializzate di capacità													
MI-009	Strumenti di misura della dimensione meccanici o elettromeccanici													
	Strumenti di misura della dimensione elettronici o con SW													
MI-010	Analizzatori dei gas di scarico													
	Coinvolgimento di un Organismo Notificato?													

Tabella 2.4. - Schemi di Dichiarazione di Conformità applicabili alle 10 categorie di strumenti regolati dalla Direttiva MID

In questo modo le nuove procedure di approvazione di modello e verifica prima possono adattarsi sia alla piccola industria artigianale che alla grande multinazionale, consentendo a ciascuna di scegliere il percorso per essa più adatto. Nella figura che segue, si riportano, i moduli applicabili a scelta del Fabbricante nelle fasi di Progettazione e Produzione

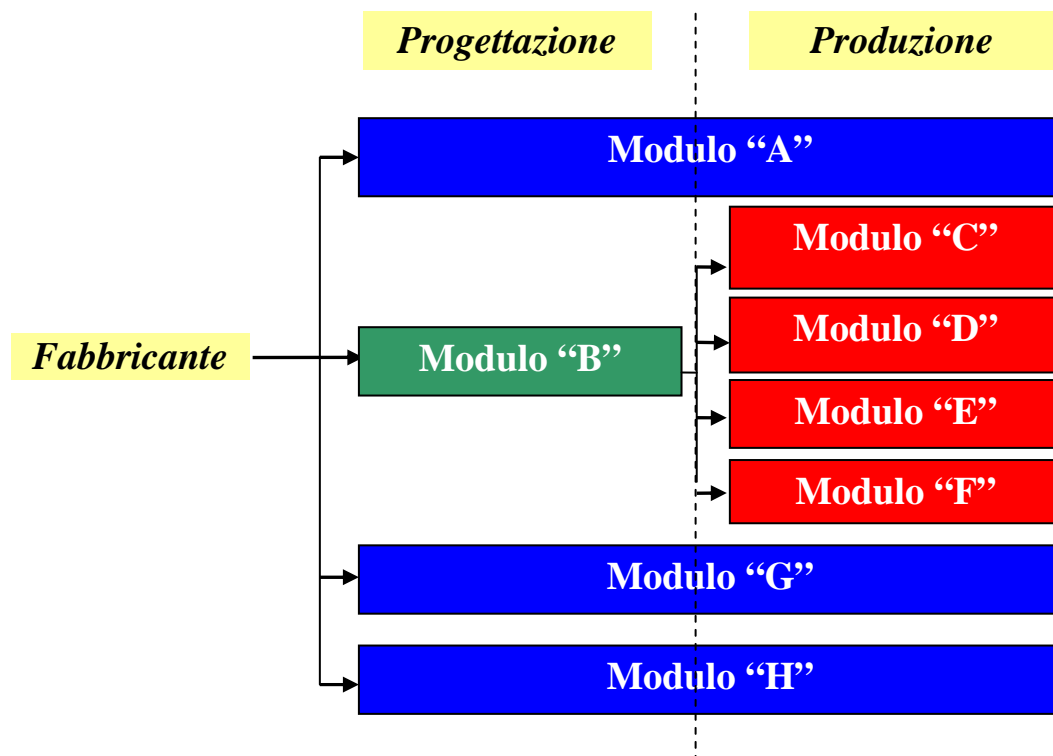



Figura 2.3. Le fasi di Progettazione e Produzione ed i relativi schemi di dichiarazione della conformità secondo la Direttiva MID

L'impiego dei sistemi di garanzia della qualità per le procedure di conformità riguarda i moduli D, E e H e le loro varianti. La certificazione del Sistema di Gestione per la Qualità (SGQ) del Fabbricante in conformità della norma UNI EN ISO 9001:2000 conferisce la presunzione di conformità, ma non ne è condizione sufficiente. La conformità ai moduli D, E ed H e alle rispettive varianti non richiede, invece, un SGQ certificato

Nel seguito si riportano gli schemi di dichiarazione di conformità in allegato da A a H1, descritti nella forma di schema a blocchi, con indicazione schematica delle responsabilità del Fabbricante e del ruolo dell'Organismo Notificato, e con la specificazione dei principali adempimenti in fase di progetto e produzione.

Modulo A: controllo di produzione interno
Modulo A1 controllo di produzione interno e prove realizzate da un organismo notificato

Fase di Progetto

Il Fabbricante

- Sviluppa la documentazione tecnica e la tiene a disposizione delle autorità nazionali (la documentazione deve consentire la valutazione della conformità)

Fase di Produzione

Il Fabbricante

- Adotta tutte le misure necessarie a garantire la conformità
- Dichiara per iscritto la conformità ai requisiti essenziali (a disposizione delle autorità nazionali per 10 anni)
- Appone la marcatura CE

L'Organismo Notificato

- Esegue o fa eseguire controlli sul prodotto per verificare la qualità dei controlli interni
- Il campione di prodotti è esaminato effettuando le prove previste da norme tecniche adeguate (se esistenti)

Figura 2.4. - Dichiarazione di conformità, moduli A e A1

Modulo B: Esame del tipo +

Fase di Progetto

Il Fabbricante trasmette all' O.N.	- La documentazione tecnica - Un esemplare dello strumento
L'Organismo Notificato	- Verifica la conformità con i requisiti essenziali - Emette il certificato di esame del tipo CE

Fase di Produzione

Modulo C Conformità al tipo (controllo prod. int.)	**Modulo D Garanzia Qualità della produzione**	**Modulo E Garanzia Qualità del prodotto**	**Modulo F Verificazione del prodotto**
Il Fabbricante			
- Dichiara la conformità con il tipo approvato - Appone la marcatura CE	- Opera con un sistema di qualità approvato (S.Q.) per la produzione e le prove - Dichiara la conformità con il tipo approvato - Appone la marcatura CE	- Opera con un sistema di qualità approvato (S.Q.) per l'ispezione e le prove - Dichiara la conformità con il tipo approvato o ai requisiti essenziali - Appone la marcatura CE	- Dichiara la conformità con il tipo approvato o ai requisiti essenziali - Appone la marcatura CE
L'Organismo Notificato			
- Esegue o fa eseguire controlli sul prodotto per verificare la qualità dei controlli interni - Il campione di prodotti è esaminato effettuando le prove previste da norme tecniche adeguate (se esistenti)	- Approva il S.Q. - Effettua la sorveglianza sul buon funzionamento del S.Q.	- Approva il S.Q. - Effettua la sorveglianza sul buon funzionamento del S.Q.	- Verifica la conformità mediante esame e prova di ogni singolo prodotto o mediante verifica statistica - Emette un certificato di conformità - Appone o fa apporre il proprio numero di identificazione

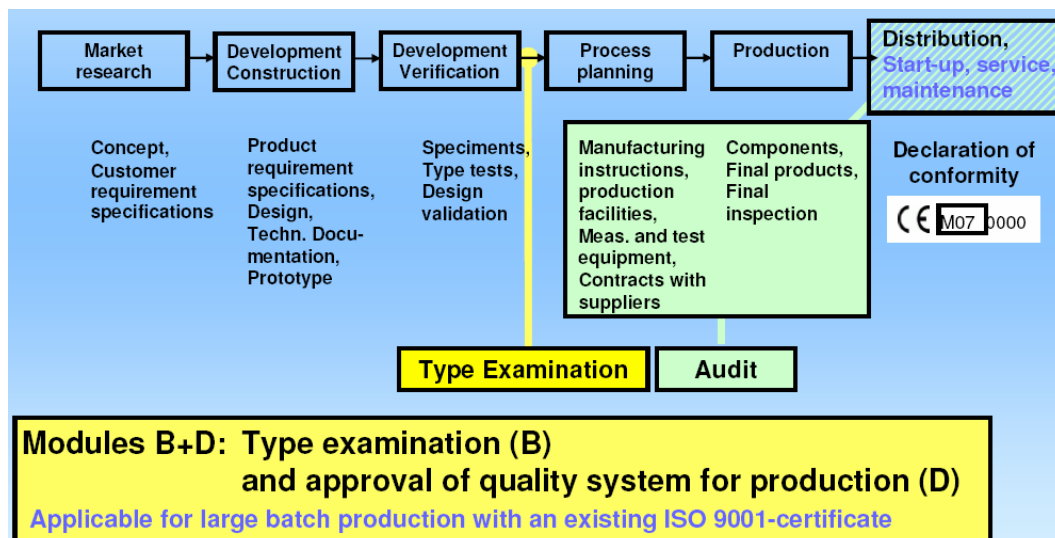
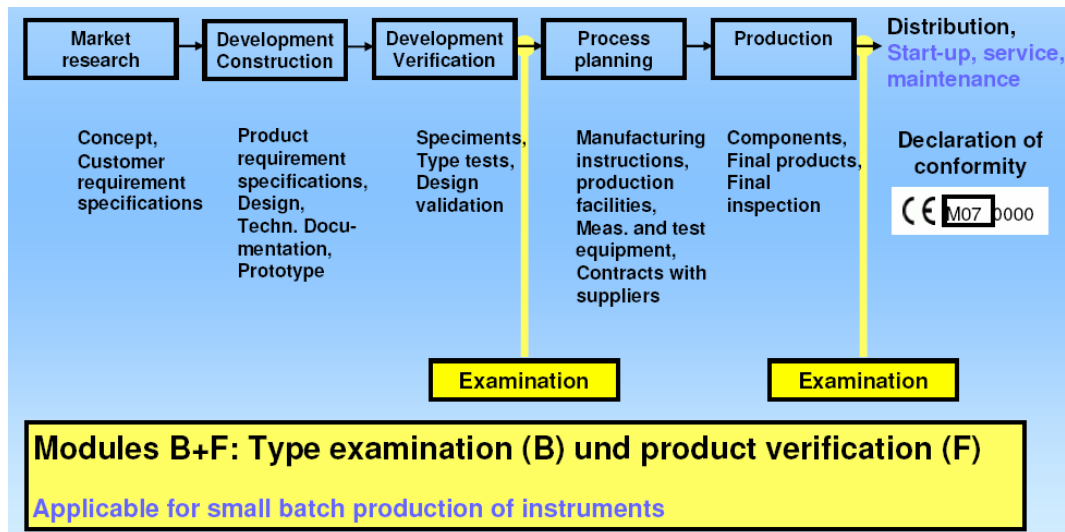



Figura 2.5. - Dichiarazione di conformità, moduli B+C, B+D, B+E, B+F

Modulo D1: Garanzia di Qualità del processo di produzione	Modulo E1: Garanzia di Qualità delle ispezioni e delle prove effettuate sul prodotto	Modulo F1: Verificazione del prodotto
Il Fabbricante		
Elabora la documentazione tecnica e la tiene a disposizione delle autorità Nazionali (10 anni) Opera con un sistema di qualità approvato (S.Q.) per la produzione e le prove Appone la marcatura CE e la marcatura metrologica supplementare e, sotto la responsabilità dell'O.N. il numero di identificazione di quest'ultimo Redige una Dichiarazione di Conformità	Elabora la documentazione tecnica e la tiene a disposizione delle autorità Nazionali (10 anni) Opera con un sistema di qualità approvato (S.Q.) per l'ispezione e le prove Appone la marcatura CE e la marcatura metrologica supplementare e, sotto la responsabilità dell'O.N. il numero di identificazione di quest'ultimo Redige una Dichiarazione di Conformità	Elabora la documentazione tecnica e la tiene a disposizione delle autorità Nazionali (10 anni) Adotta le misure necessarie a garantire la conformità ai requisiti essenziali Appone la marcatura CE e la marcatura metrologica supplementare Redige una Dichiarazione di Conformità
L'Organismo Notificato		
Approva il S.Q. Effettua la sorveglianza sul buon funzionamento del S.Q.	Approva il S.Q. Effettua la sorveglianza sul buon funzionamento del S.Q.	Verifica la conformità mediante esame e prova di ogni singolo prodotto o mediante una verifica statistica Emette un certificato di conformità Appone o fa apporre il numero di identificazione dell'O.N.

Figura 2.6. - Dichiarazione di conformità, moduli D1, E1, F1

Modulo G: Verificazione di un unico prodotto

Fase di Progetto

Il fabbricante elabora la documentazione tecnica e la mette a disposizione dell'Organismo Notificato, la documentazione comprenderà il Progetto, le modalità di fabbricazione e il funzionamento del prodotto

Fase di Produzione

Il Fabbricante

- Dichiara la conformità
- Appone la marcatura CE
- Sottopone il prodotto all'O.N.

L'Organismo Notificato

- Verifica la conformità con i requisiti essenziali
- Emette un certificato di conformità

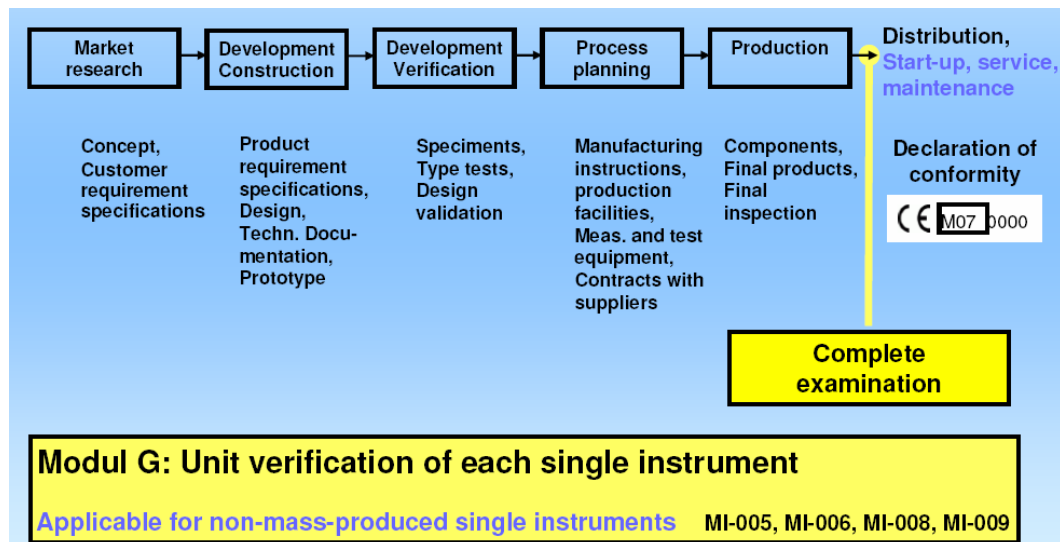



Figura 2.7. - Dichiarazione di conformità, modulo G

Modulo H: Garanzia di Qualità Totale Modulo H1 Garanzia di Qualità Totale e esame del progetto

Fase di Progetto

Il Fabbricante
Opera con un Sistema di Qualità approvato (S.Q.) per la progettazione
L'Organismo Notificato
Effettua la sorveglianza sul S.Q. Se Modulo H1 Verifica la conformità del progetto (modulo H1) Emette un certificato di esame del progetto CE (modulo H1)

Fase di Produzione

Il Fabbricante
Opera con un Sistema di Qualità approvato (S.Q.) per la produzione e prova Dichiara la conformità Appone la marcatura CE
L'Organismo Notificato
Effettua la sorveglianza sul S.Q.

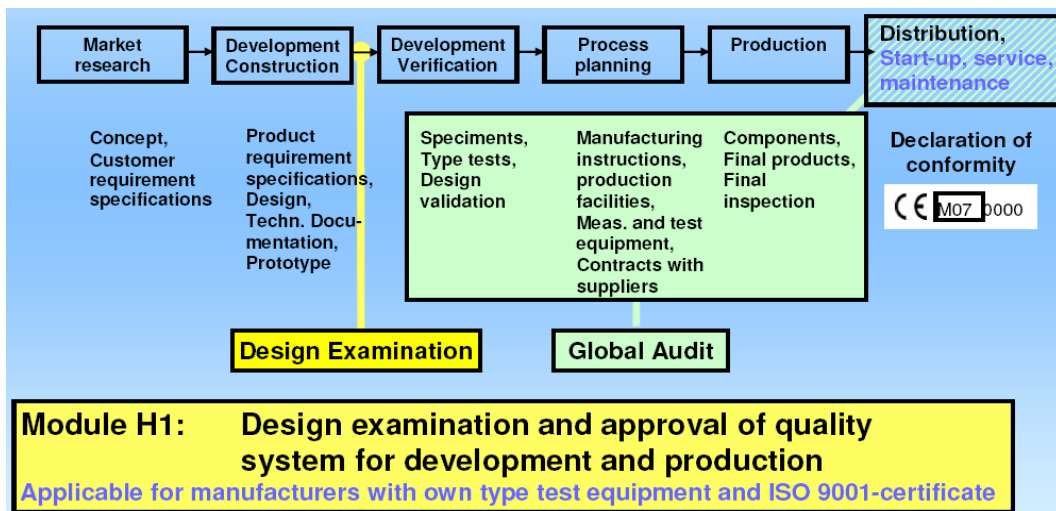



Figura 2.8. - Dichiarazione di conformità, moduli H e H1

La Documentazione Tecnica

La Documentazione Tecnica prodotta dal Fabbricante e relativa allo Strumento di Misura deve descrivere in modo intelligibile la progettazione, la fabbricazione e il funzionamento dello strumento di misura e deve consentire di valutare la conformità dello stesso ai requisiti pertinenti della direttiva.

Il Fabbricante specifica la posizione dei sigilli e delle marcature, ed indica i requisiti di compatibilità con interfacce e sottounità, dettagliando adeguatamente:

- le caratteristiche metrologiche;
- la riproducibilità dei risultati delle misure degli strumenti prodotti quando essi sono correttamente tarati avvalendosi degli opportuni mezzi previsti;
- la azioni adottate per garantire l'integrità dello strumento.

La documentazione tecnica che il Fabbricante predispone e, ove applicabile in funzione del modulo di dichiarazione della conformità prescelto, mette a disposizione dell'Organismo Notificato, deve comprendere:

a) descrizione generale dello strumento;
b) schemi di progettazione e di fabbricazione, nonché piani relativi a componenti, sottounità, circuiti, ecc.;
c) procedure di fabbricazione per garantire una produzione omogenea;
d) descrizione dei dispositivi elettronici con schemi, diagrammi, diagrammi di flusso dell'informazione del software logico e generale che ne illustrino le caratteristiche e il funzionamento;
e) descrizioni e spiegazioni necessarie per comprendere i punti b), c), d), compreso il funzionamento dello strumento;
f) elenco delle norme e/o dei documenti normativi (art.13), applicati in tutto o in parte;
g) descrizioni delle soluzioni adottate per soddisfare i requisiti essenziali qualora non siano state applicate le norme e/o i documenti normativi previsti all'articolo 13;
h) risultati dei calcoli di progetto, di esami, ecc.;

i) risultati delle prove appropriate se necessario per dimostrare che il tipo e/o lo strumento sono conformi a:
   - i requisiti della MID in base alle condizioni di funzionamento nominali dichiarate e ai disturbi ambientali specifici,
   - le specifiche di durabilità dei contatori del gas, dell'acqua, di calore nonché dei contatori di liquidi diversi dall'acqua;

j) attestati di esame CE del tipo o attestati di esame CE del progetto per quanto concerne gli strumenti che contengono parti identiche a quelle del progetto.

La MID, inoltre, riconosce le Raccomandazioni Tecniche dell'OIML [3], *Organisation Internationale de Métrologie Légale*, come "documenti normativi" equivalenti alle norme armonizzate ai fini della presunzione di conformità da parte del costruttore (art. 4 – i).

Un importante lavoro di armonizzazione ai fini della applicazione della Direttiva MID è svolto in questi tempi dal WELMEC [8], *Western European Legal Metrology Cooperation,* organismo europeo per la cooperazione in Metrologia Legale in cui partecipano ad oggi i 25 stati membri EU con 3 stati EFTA e Turchia e Croatia come membri associati.

Nell'ottica del *nuovo approccio*, infatti, sono disponibili importanti aggiornamenti di Guide Welmec relative all'utilizzo delle raccomandazioni OIML come documentazione di riferimento tecnica in ambito MID.

Complessivamente sono disponibili 28 guide per l'applicazione della MID (direttamente o indirettamente) e facenti riferimento ai gruppi di lavoro:

- WG 2, aspetti tecnici sul nuovo approccio, guida AWI;
- WG 4, decisioni in metrologia legale (incertezza);
- WG 5, sorveglianza del mercato;
- WG 7, software;
- WG 8, direttiva strumenti di misura MID;
- WG 10, esame del tipo per famiglie di strumenti, sistemi di conversione, marcatura di distributori di carburante

- WG 11, utility meters

In particolare il WG8 è coordinatore di una ampia serie di guide sulle problematiche di applicazione della Direttiva MID, tra cui

8.0 *Requisiti generali per la verifica e la conduzione degli Organismi Notificati (normativa applicabile e link con le altre guide)*

8.1 *Vocabolario: link tra Direttiva MID e altri documenti per la Metrologia Legale*

8.2 *Applicazione modulo H1*

8.3 *Applicazione modulo B*

8.4 *Applicazione modulo D*

8.5 *Valutazione di un Organismo Notificato per l'esame del tipo (basato sulla EN 45011 [9])*

8.6 *Presunzione della conformità di un sistema di gestione per la qualità di un fabbricante per i moduli D e H1, quando è applicata la ISO 9001 [10]*

Sono inoltre disponibili, sempre a cura del WG8, una serie di guide con utili tabelle di cross-reference tra requisiti MID e le corrispondenti raccomandazioni tecniche OIML:

- *8.11 (contatori di acqua OIML R 49)*
- *8.14 (contatori di calore OIML R 75)*
- *8.15 (sistemi di misura per liquidi diversi dall'acqua OIML R 117)*
- *8.16 -1 ÷ 8.16-5 (AWI OIML R 51, R 61, R 107, R 50 e R 106)*
- *8.19 -1 (strumenti per la misura della dimensione OIML R 66)*
- *8.19 -2 (strumenti per la misura della superficie OIML R 136)*
- *8.19 -3 (strumenti di misura multidimensionali OIML R 129)*
- *8.20 (analizzatori di gas OIML R 99)*

In particolare questa ultima serie di guide fornisce agli Enti ed Organizzazioni interessate utilissime tabelle di corrispondenza tra i requisiti della Direttiva MID (allegato I e allegati specifici) ed i corrispondenti punti delle Raccomandazioni

Tecniche OIML applicabili, con indicazione di un campo di commenti per le interpretazioni dei risultati e la verifica della conformità.

La Direttiva MID e la necessità di aggiornare le normative esistenti in funzione delle evoluzioni tecnologiche subite dagli strumenti negli ultimi anni, hanno determinato una diffusa necessità di aggiornamento dei suddetti documenti con un grande numero di revisioni in corso e di comitati tecnici al lavoro. Il risultato atteso è che entro breve saranno disponibili per le 10 categorie di strumenti MID normative aggiornate, al passo con la tecnologia e, soprattutto, allineate ai requisiti della Direttiva MID.

Nella tabella che segue, per le 10 categorie di strumenti MID, si riporta uno schema delle raccomandazioni OIML applicabili e delle corrispondenti normative europee esistenti (spesso facenti esplicito riferimento alle stesse OIML).

Strumento di Misura	***Raccomandazione Tecnica OIML applicabile***	***Stato / Guida WELMEC di corrispondenza tra MID e OIML***	***Norma Europea Applicabile***
MI-001 Contatori di acqua	R49-1:2006 (a. fredda) R49-2:2006 (prove) R49-3:2006 (rapporto) R72 (a.calda)	In corso revisione. Welmec 8.11:2006	UNI EN 14154-1:2007 UNI EN 14154-2:2007 UNI EN 14154-3:2007
MI-002 Contatori del gas	R6:1989 (generale) R31(diaframma) R32 (pistone rot.)	– In corso revisione di R6, R31 e R32. DR4 07/2007 – NMi doc: *Test Procedures for Diaphragm Gas Meters"* e *"Proposal for standard format of test procedures for rotary piston and turbine gas meters*" [53]	UNI EN 12261:2006 (turbina) EN 12480:2006 (pist. rot.) EN 1359:2006 (diafr.) UNI EN 14236:2007 (ultras.)
MI-002 Dispositivi di conversione del volume		Proposal for standard format of test procedures for electronic gas volume conversion devices [53]	UNI EN 12405:2007 UNI EN 437:2005
MI-003 Contatori di energia elettrica attiva	R46	In corso di pubblicazione. DR CD3 mar 2006	CEI EN 62052-11:2003 CEI EN 62053-21:2003 CEI EN 62053-23
MI-004 Contatori di calore	R75-1:2002 gen. R75-2:2002 prove R75-3:2006 report	Welmec 8.14:2006	EN 1434-1:2007 EN 1434-2:2007 EN 1434-3:2007 EN 1434-4:2007 EN 1434-5:2007 EN 1434-6:2007

Strumento di Misura	*Raccomandazione Tecnica OIML applicabile*	*Stato / Guida WELMEC di corrispondenza tra MID e OIML*	*Norma Europea Applicabile*
MI-005 Sistemi di misura per la misurazione continua e dinamica dei liquidi diversi dall'acqua	R117-1:2007 R118:1995 R105 R81 A,B,C:1998 R81 D:2006	– DR 117-1TC 8 / SC 3 per R117-1 R117-2 (revisione combinata per R105, R117 e R118), feb 2007 – Welmec 8.15:2006 – NMi doc "*Test procedures for electronic meters*" e "*Test procedures for electronic calculators with conversion function and electronic conversion devices*" [53]	
MI-006 – II Selezionatrici Ponderali	R51-1:2006 R51-2:2006 (prove)	Revisione in corso Welmec 8.16.1:2006	
MI-006 – III Riempitrici Gravimetriche Automatiche	R61-1:2004 R61-2:2004 (prove)	Welmec 8.16.2:2006	
MI-006 –IV Totalizzatori a funzionamento discontinuo	R107-1:1997 R107-2:1997 (prove)	Welmec 8.16.3:2006	
MI-006 – V Totalizzatori a funzionamento continuo	R50-1:1997 R50-2:1997 (prove)	Welmec 8.16.4:2006	
MI-006 – VI Pese a Ponte per Veicoli Ferroviari	R106-1:1997	Welmec 8.16.5:2006	
MI-007 Tassametri	R21:2007	NMi doc "*Test and examination procedures for electronic taximeters*" [53]	EN 50148:1995
MI-008 – I Misure materializzate di lunghezza	R35:1985		
MI-008 – II Misure materializzate di capacità	R29:1973		
MI-009 – I Strumenti per la misura della dimensione (lunghezza)	R66:1985	Welmec 8.19-1:2006	
MI-009 – II Strumenti per la misura della dimensione (superficie)	R136:2005	Welmec 8.19-2:2006	
MI-009 – III Strumenti per la misura della dimensione (multidimensionali)	R129:2000	Welmec 8.19-3:2006	
MI-010 Analizzatori di gas di scarico	R99:2000	Welmec 8.20:2006	ISO 3930:2000

Tabella 2.5. Racc. OIML e Normative Europee applicabili per gli strumenti MID

Il ruolo degli Organismi Notificati

Ciascuno Stato Membro designa gli Organismi rientranti nella propria competenza giurisdizionale per espletare i compiti relativi ai moduli di valutazione della conformità. La *notificazione* è specifica per tipologia di strumento (se del caso per classe di precisione dello strumento e intervallo di misura) e per modulo/i di valutazione della conformità.
Uno Stato Membro mantiene il diritto a notificare un Organismo anche per quegli strumenti per i quali non prescrive i controlli metrologici legali. Gli Organismi Notificati (ON) intervengono nelle procedure di valutazione della conformità e devono essere tecnicamente competenti e capaci di svolgere le procedure di valutazione della conformità per cui hanno ottenuto la notifica. Essi devono essere terze parti indipendenti dai loro clienti e da altre parti interessate
La valutazione della conformità deve essere effettuata da parte dell'ON con il più elevato grado di *integrità professionale* e *competenza tecnica* in campo metrologico.
L'Organismo Notificato svolge periodicamente verifiche ispettive per assicurarsi che il fabbricante mantenga e applichi il sistema di qualità, e trasmette al Fabbricante un rapporto sulle verifiche ispettive effettuate. Inoltre, l'Organismo Notificato può effettuare visite senza preavviso presso il Fabbricante e può effettuare, o far effettuare, prove sul prodotto per verificare il corretto funzionamento del sistema di qualità (questo aspetto normalmente non è previsto nei normali schemi di certificazione della qualità ISO 9001 [10]).
Se l'Organismo subappalta compiti specifici (tra cui, ad esempio, le attività di prova), deve prima assicurarsi che il subcontraente soddisfi i requisiti della direttiva MID. L'ON deve mantenere a disposizione dell'autorità notificante (in Italia il Ministero dello Sviluppo Economico, attraverso l'Ufficio D3) i documenti pertinenti che valutano le qualifiche del subcontraente e le attività svolte da quest'ultimo ai sensi della direttiva MID.

La possibilità di subappaltare in parte le attività necessarie per la valutazione della conformità, incluse quelle di prova, consente di operare con strutture accreditate dedicate e competenti dal punto di vista normativo, legale e, soprattutto, metrologico, e delegare le attività operative di prova e caratterizzazione metrologica a laboratori accreditati secondo la ISO 17025:2005 [11], mantenendo comunque il coordinamento e la supervisione delle attività di prova .
Ad oggi in Italia non esistono Organismi Notificati, e questo rappresenta un forte limite per l'industria italiana. In questo panorama, vista anche l'esperienza di altri importanti Stati Membri (Francia, Germania) in cui operano come Organismi Notificati le strutture di accreditamento e/o i Laboratori Primari (LNE, PTB), è auspicabile un impegno diretto degli organismi ed Enti omologhi italiani (INRIM, SIT, SINAL, ENEA), per la massima garanzia del sistema della Metrologia Legale nel nostro paese.
In questo lavoro si segnala una criticità riscontrata sia nella traduzione della Direttiva MID in lingua italiana che nel DL n. 22 del 2 febbraio 2007 di recepimento. Negli schemi di dichiarazione della conformità che prevedono la valutazione del SGQ da parte dell'Organismo Notificato si legge che *…oltre a fornire consulenza sui sistemi di gestione della qualità, il gruppo incaricato dell'accertamento deve…* La corrispondente versione originale in lingua inglese della Direttiva riporta invece *…in addition to experience in quality management systems, the auditing team shall possess…*
D'altra parte tutte le norme della qualità stabiliscono (vedi ISO 19011:2003), che il requisito più volte sancito dell'imparzialità dell'Organismo Notificato, del suo Direttore e del gruppo di Verifica è assolutamente incompatibile con l'attività di consulenza. E' auspicabile che tale aspetto venga adeguatamente regolamentato dall'Ufficio D3 all'atto della notifica dei primi Organismi.
Ai sensi dell'Art. 18 *Vigilanza sul mercato e cooperazione amministrativa* è messo a disposizione un sistema di condivisione delle informazioni relative sia agli organismi notificati che alle certificazioni di SGQ da essi effettuate ed agli strumenti "*certificati MID*". A questa banca dati disponibile in rete si accede

attraverso il portale "*Nando*" della Comunità Europea [12] che pubblica i riferimenti a tutti gli ON operanti secondo gli schemi delle varie direttive comunitarie o tramite il sito web del Welmec [8] alle categorie "*Notified Bodies*" e "*MID Certificates*".

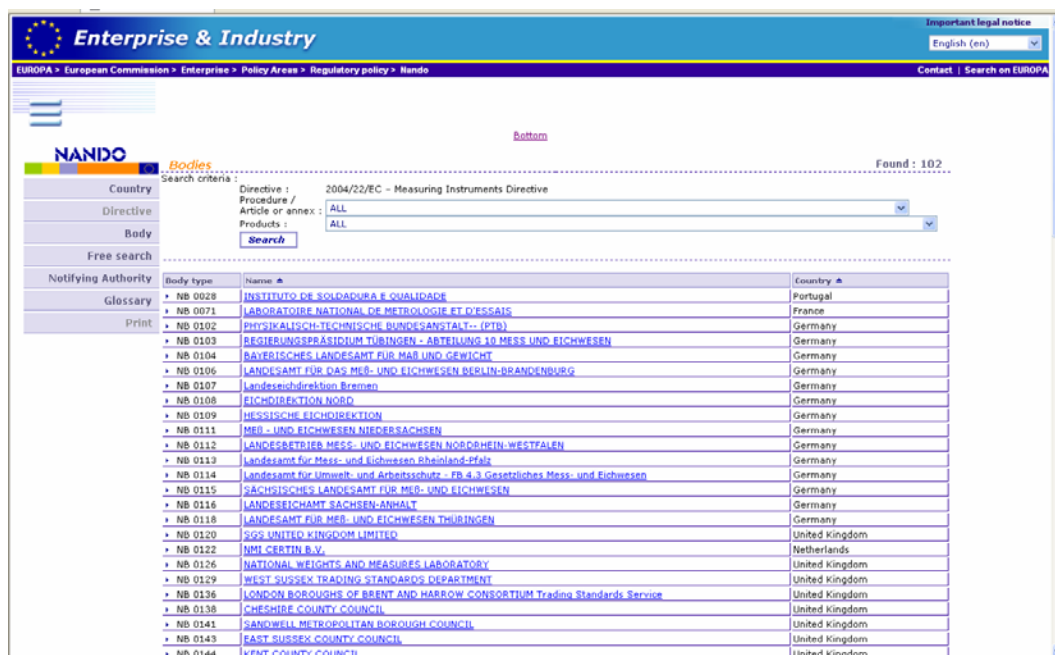



Figura 2.9 – Portale "*Nando*" della CE degli Organismi Notificati per la Direttiva MID

Attualmente in Europa sono operativi 101 Organismi Notificati sulla Direttiva MID [12], di questi, la stragrande maggioranza è stata notificata dal NWML (*National Weight and Measures* Laboratory) inglese (49 ON). Nella tabella che segue si riporta il numero di ON per Stato Membro.

Stato Membro EU	***Numero di ON***
Austria	1
Belgium	1
Czech Republic	1
Denmark	3
Finland	1

Stato Membro EU	***Numero di ON***
France	3
Germany	14
Ireland	1
Netherlands	3
Norway	1
Poland	8
Portugal	2
Slovakia	2
Slovenia	2
Spain	7
Sweden	1
Switzerland **(MRA)**	1
United Kingdom	49

Tabella 2.6. Organismi Notificati Europei per gli strumenti MID

La Direttiva MID e gli Utility Meters

Si definisce "*Utility Meter*" un misuratore utilizzato dalle aziende erogatrici di servizi di *utilità* per la contabilizzazione dei consumi di acqua, gas, elettricità o calore. La Direttiva MID regola i suddetti strumenti nei primi 4 allegati tecnici:

- contatori dell'acqua (MI 001);
- contatori del gas e i dispositivi di conversione del volume (MI 002);
- contatori di energia elettrica attiva e trasformatori di misura (MI 003);
- contatori di calore (MI 004).

Tra questi, in particolare, i contatori di energia elettrica e termica fino ad ora non erano regolati in Italia da alcuna normativa di Metrologia Legale

Quello della misura di *energia* e della definizione delle problematiche di taratura e verifica ad essa connesse è senza dubbio tra gli aspetti più complessi della metrologia, sia per l'impossibilità di effettuare misure dirette, sia per le diverse forme assunte da questa grandezza e che abbracciano gli ambiti della metrologia meccanica, termica, elettrica e chimica.

Questo si traduce in una seria difficoltà nel garantire nelle forme tradizionali la più corretta riferibilità metrologica e determina inevitabili carenze procedurali nella gestione della strumentazione e delle misure inficiando aspetti metrologici fondamentali quali la scelta e la conferma metrologica della strumentazione, nonché la misura stessa e la relativa stima dell'incertezza e verifica degli errori massimi permessi.

Accanto a ciò occorre evidenziare che la misura e la contabilizzazione dell'*energia* assume nelle normali transazioni una delicata valenza commerciale e che gli attuali scenari di politica internazionale impongono da un lato misure di risparmio energetico e dall'altro una notevole attenzione alla ricerca e sviluppo di fonti alternative di energia. Nonostante ciò la difficile misurabilità della grandezza *energia* rende ancora oggi complesso lo scambio e la contabilizzazione dei prodotti e dei servizi energetici. Si pensi alla contabilizzazione di combustibili fossili (benzina, greggio, GPL, gas naturale, ecc.) effettuata quasi esclusivamente in volume e non direttamente in energia.

A rendere ancora più complessa e critica questa situazione contribuisce la liberalizzazione del mercato italiano ed europeo dell'energia elettrica e del gas. Un ulteriore aspetto, spesso trascurato, riguarda la "*qualità*" dell'energia per la valutazione, oltre che del rendimento energetico di un impianto/sistema, anche del suo rendimento "*exergetico*", del suo impatto ambientale, della qualità dei servizi resi (continuità, disturbi, ecc). Pertanto la misura ed il controllo dell'energia sono di eccezionale importanza sia nelle attività industriali che domestiche.

La misura dell'*energia elettrica* ha un'importanza rilevante nelle transazioni commerciali di energia elettrica, ma anche nella stima dei bilanci energetici aziendali e nella valutazione delle prestazioni di macchine e sistemi energetici tradizionali e innovativi. La deregolamentazione dell'industria elettrica e l'espansione del mercato mondiale del commercio dell'energia elettrica ha fatto nascere da un lato l'esigenza di eseguire misure in maniera diffusa e continua, dall'altro il bisogno di una maggiore precisione ed accuratezza nella sua misurazione. Inoltre, fenomeni legati alla *power quality*, quali la distorsione

armonica, il rumore ed i transitori, oltre ai buchi ed alle sovratensioni generate dalle nuove, sofisticate apparecchiature elettroniche hanno aumentato il grado di difficoltà nella realizzazione di misure precise. Queste tendenze stanno stravolgendo le attuali tecnologie di misura dell'energia elettrica, con l'ulteriore difficoltà rappresentata dalla mancanza di standard efficaci e precisi in base ai quali tarare e verificare gli strumenti di misura.

Per quanto riguarda la misura dell'*energia termica* lo scenario attuale mostra una scarsa diffusione sul territorio nazionale di misuratori per la contabilizzazione dei consumi energetici, anche per la scarsa diffusione di sistemi di teleriscaldamento centralizzati per condomini o quartieri. Inoltre, oggi la misura dell'energia termica viene effettuata con strumenti (contatori di energia termica) che in Italia non sono ancora oggetto dei controlli della Metrologia Legale, e la direttiva MID rappresenta quindi per essi l'unico attuale obbligo legislativo.

Infine, aver elevato al rango di strumento legale il contatore dell'acqua, se da un lato è la ovvia conseguenza della gestione in ottica aziendale della risorsa *acqua*, non più bene sociale ma servizio, dall'altro attribuisce al contatore, strumento povero in tecnologie e a basso costo di produzione, un ruolo troppo delicato. Con un parco contatori installati di 28-30 Milioni di pezzi, la maggior parte obsoleti ed usurati, e con la quasi certezza che per gli attuali modelli sul mercato la vita media stimata (numero di anni in cui le fasce prestazionali MID sono garantite) è di soli 6 anni, deve essere assolutamente fatto uno sforzo di innovazione delle tecnologie, che da un lato garantisca un allungamento della vita tecnologica dei contatori e dall'altro consenta una maggiore certezza dei dati di misura che, peraltro, sono oggi spesso digitalizzati per scopi di telelettura e controllo dei consumi.

Quanto detto per i contatori di acqua vale anche per i contatori di Energia Termica e i contatori di acqua ad uso sanitario. Strumenti che nell'adottare componenti di derivazione acquedottistica ad applicazioni quali la fornitura di fluidi caldi, rischiano di risultare inadeguati e di operare in condizioni incompatibili con i

limiti MID e con vite medie accettabili per la garanzia dei consumatori-utenti viste le ben note capacità prestazionali dei misuratori contatori di norma adottati.
Recentemente il Laboratorio della CCIAA di Asti (primo Laboratorio accreditato SIT in Italia per la taratura dei contatori di acqua) ha pubblicato i risultati di una serie di misure su 100 contatori obsoleti (di età superiore a 15 anni) regolarmente installati sulla rete. Lo studio ha dimostrato la presenza di errori molto consistenti, soprattutto alle basse portate, peraltro di segno negativo e che si traducono in un mancato guadagno da parte dell'Ente gestore e, in generale, in uno spreco della risorsa erogata.
La media dei risultati è riportata nel grafico seguente:

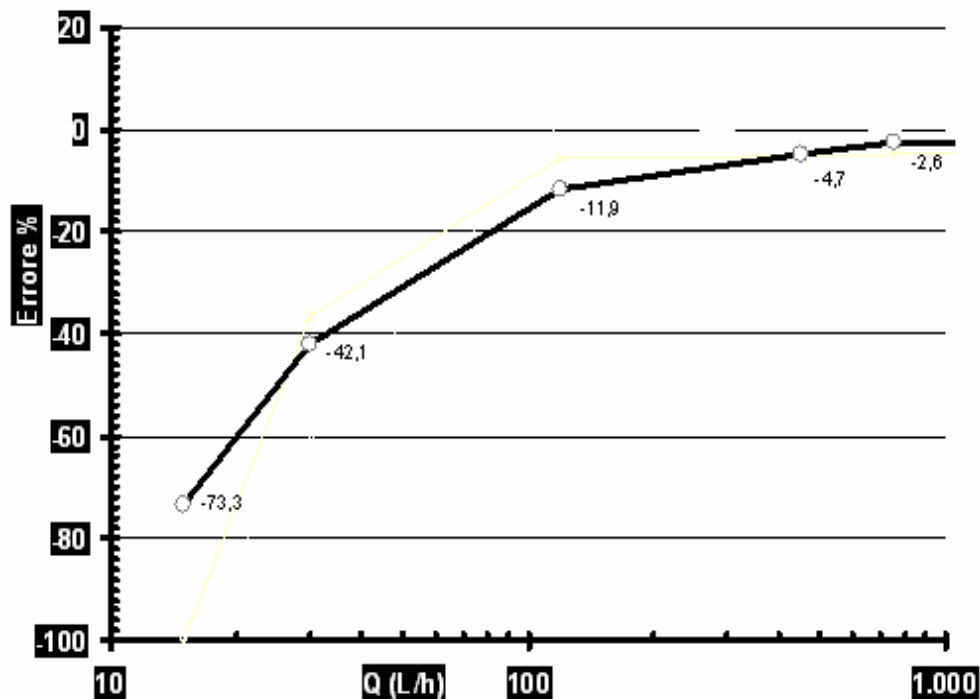



Figura 2.10- Curve metrologiche medie per contatori obsoleti (età superiorie a 15 anni)

La consapevolezza della necessità di sottoporre a controlli periodici gli strumenti di contabilizzazione dei consumi di energia è dimostrata anche dallo studio in atto

da parte del TC 3/SC 4, che ha emesso nel 2005 un Committee Draft per un Documento OIML sulla sorveglianza degli *utility meters* in servizio [13]. Il documento, in iter di approvazione, stabilisce la necessità di un controllo del decadimento delle caratteristiche metrologiche degli *utility meters,* introducendo a riguardo i principi e le regole del controllo statistico e della individuazione di opportuni livelli minimi di qualità (QL). Il controllo viene effettuato su un certo numero di misuratori prelevati dalla rete ed appartenenti allo stesso lotto di produzione (tracciabilità dei misuratori) e subordinandone la permanenza in servizio dell'intero lotto ai risultati delle prove metrologiche effettuate, con le regole ed i limiti indicati dai singoli Stati Membri.

Capitolo 3

Le Tecnologie ICT per la Metrologia Legale

La *Information and Communication Technology* (ICT) offre oggi numerose opportunità di progresso per l'intero Sistema della Metrologia Legale e potrà consentire la semplificazione dei processi ed il miglioramento dell'efficacia e della qualità del servizio, garantendo allo stesso tempo protezione e sicurezza dei dati, accessibilità delle informazioni e trasparenza delle procedure.
L'ICT può facilmente migliorare ed armonizzare le interazioni dei principali processi della Metrologia Legale a vantaggio degli attori del Sistema (Autorità Nazionale, Uffici Metrici Provinciali, Ispettori ed Assistenti, Utenti e Fabbricanti Metrici, Consumatori, Laboratori Riconosciuti), armonizzando i campi di intervento di ciascuno, in conformità con i rispettivi ruoli istituzionali.
E' naturalmente necessario che qualsiasi strumento ICT al servizio della Metrologia Legale vada ad interfacciarsi con i sistemi in uso e ne garantisca la continuità delle informazioni e delle procedure (in Italia il sistema Eureka delle CCIAA).
L'ICT può efficacemente rispondere alle esigenze di rafforzamento, modernizzazione e semplificazione dei processi della Metrologia Legale. Essa rappresenta, infatti, un potente strumento per aumentare l'efficacia e l'efficienza nelle verifiche (iniziali e periodiche) e per migliorare la capacità di gestione, controllo e supervisione da parte dell'Autorità Nazionale (in Italia l'Ufficio D3 del MAP) e delle Autorità Locali (gli Uffici Provinciali Metrici delle CCIAA) su Utenti e Fabbricanti e sui Laboratori riconosciuti ai sensi dei recenti D.Lgs. 179 e 182/2000 [14, 15].
L'ICT può infine rappresentare il presupposto per la trasparenza dell'intero Sistema della Metrologia Legale.

Con strumenti relativamente semplici e abbondantemente sperimentati in termini di efficienza ed efficacia, l'ICT può infatti supportare ciascun attore del sistema nel seguire l'intero ciclo di vita di uno strumento metrico-legale (Figura 2.1.) garantendo un efficiente supporto ed interazione con tutte le entità coinvolte (Uffici Metrici Provinciali ed Autorità Nazionale, Fabbricanti ed Utenti metrici, Organizzazioni dei Consumatori, Ispettori ed Assistenti, Laboratori Riconosciuti) al fine di aumentare e migliorare la tutela del mercato e la protezione della fede pubblica e per assicurare la leale concorrenza tra le organizzazioni.

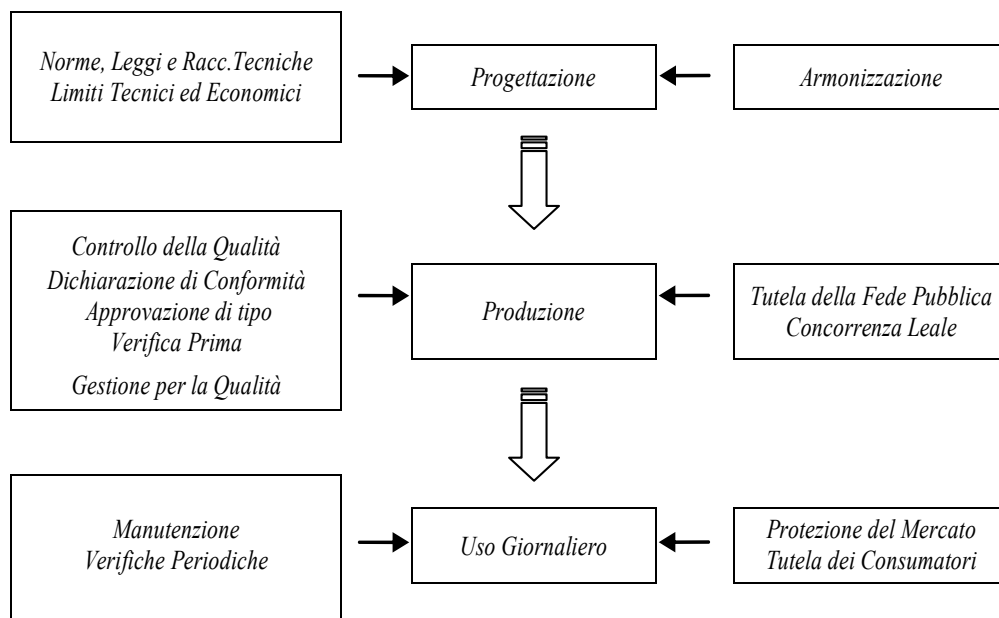



Figura 3.1. - Ciclo di vita di uno Strumento di Misura Metrico-Legale

In funzione della fase di vita dello strumento (progettazione, produzione e uso giornaliero) cambiano sia le esigenze (armonizzazione, tutela della fede pubblica, concorrenza leale tra organizzazioni, protezione del mercato e tutela dei consumatori) che i vincoli esterni (norme, leggi, raccomandazioni tecniche, controllo della qualità, ….). In ciascuna delle sopradescritte fasi l'ICT può intervenire con un supporto organico ed efficace.

Infatti, le opportunità offerte dall'ICT partono dal semplice supporto documentale, già parzialmente disponibile in alcuni portali dedicati alla Metrologia Legale in Italia, fino alla disponibilità di strumenti operativi per il calcolo, l'elaborazione e per la determinazione degli esiti delle operazioni di verifica. L'accesso al servizio attraverso il *web* può soddisfare anche la diffusa esigenza di accedere, ovunque e facilmente, alle informazioni di interesse metrico legale (principalmente norme, leggi, decreti, modelli, raccomandazioni tecniche) e di accompagnare gli Ispettori e gli Utenti Metrici nelle rispettive interazioni in un percorso validato e certificato.

L'esito delle operazioni *on situ* ed il confronto con i massimi errori permessi potrà essere immediatamente effettuato e contestualmente si potrà procedere anche all'aggiornamento delle informazioni sulle relative banche dati. Infatti, attraverso specifici fogli di calcolo con accesso protetto in termini di integrità e validazione delle formule e delle elaborazioni dei risultati, l'Ispettore Metrico potrà essere accompagnato nella corretta applicazione della procedura legale (inclusi i requisiti della MID ove applicabili) in termini di sequenza delle operazioni e di immediata elaborazione dei dati, compresi errori ed incertezze.

Di seguito si illustrano brevemente alcuni processi della Metrologia Legale ottimizzabili attraverso una gestione con moderni strumenti ICT:

a) *archivio documenti* (modelli di registrazione, norme e raccomandazioni): risoluzioni, procedure tecniche, iter burocratici, norme e leggi di riferimento, raccomandazioni tecniche;
b) *archivio dei riferimenti*: informazioni e riferimenti dell'Autorità Nazionale e delle Organizzazioni e Strutture responsabili della gestione del sistema (Ufficio D3 del Ministero dello Sviluppo Economico, Uffici Provinciali delle CCIAA, Fabbricanti Metrici e Laboratori Riconosciuti ai sensi dei DL 179 e 182/2000, , Utenti Metrici);
c) *archivio degli strumenti*: dati essenziali dei modelli approvati e di uso metrico legale con la documentazione tecnica rilevante (test effettuati, decreti di approvazione, disegni tecnici);

d) *librerie di software validati*: modelli di librerie e di fogli di calcolo, studiati per tradurre in pratica le norme, i decreti e le raccomandazioni tecniche OIML applicabili, in modo da eseguire e documentare le azioni effettuate, con la garanzia sulla corretta elaborazione dei dati sperimentali (aspetto critico nelle verifiche prime e periodiche);

e) *anagrafica degli strumenti*: parco strumenti installato correlato alle informazioni necessarie alla loro gestione (identificazione, ubicazione, stato di servizio, ecc.);

f) *cronologico degli interventi*: informazioni anagrafiche e tecniche derivanti dai processi di gestione del parco strumenti come, ad esempio, la verifica iniziale, le verifiche periodiche, eventuali procedure di richiamo per la manutenzione, azioni di messa fuori servizio o di rilegalizzazione, attività di supervisione al corretto uso e manutenzione, azioni dopo manutenzione e sostituzione.

Inoltre, oggi un moderno Ufficio Metrico gestisce le verifiche prime e periodiche di molte categorie di strumenti metrico legali (alcune delle quali descritte nella MID) e deve garantire per essi la riferibilità metrologica. Questo significa che l'Ufficio deve operare con un proprio sistema di gestione per la qualità conforme alla norma ISO 17025:2005 [11].

Allo stesso tempo, i Fabbricanti ed i Laboratori riconosciuti devono dare dimostrazione di adottare un sistema adeguato per la gestione della qualità in progettazione, produzione e collaudo, nella garanzia della conformità alle norme per la qualità.

Anche in questo ambito l'ICT offre utili strumenti per:

i. la gestione dei campioni di riferimento e della strumentazione ausiliaria, in termini di verifica della taratura, conferma metrologica e manutenzione
ii. la gestione della documentazione interna (manuale e procedure, modelli di registrazione) ed esterna (norme, raccomandazioni, decreti e leggi)
iii. la gestione della formazione, qualifica ed addestramento del personale).

iv. il riconoscimento e la sorveglianza dei Laboratori esterni e dei Fabbricanti.

L'architettura che ne deriva per realizzare un sistema idoneo alla modernizzazione del settore della Metrologia Legale, non potrà prescindere , quindi, da una struttura basata su:

1. database di Documenti, Riferimenti, Norme, Leggi e Raccomandazioni;
2. database dei Modelli Approvati (fabbricanti metrici) e degli Strumenti installati (utenti metrici);
3. database per la registrazione degli interventi tecnici (verifica prima, periodica e manutenzione) e amministrativi (sequestro, sanzioni, rilegalizzazione);
4. collegamento al database Eureka delle CCIAA che già oggi contiene le informazioni relative alle anagrafiche degli strumenti ed al loro stato di esercizio;
5. una libreria di software validati, corredata degli opportuni strumenti (interfaccia utente, linee guida, procedure guidate) per l'emissione dei rapporti d'intervento e l'estrazione delle informazioni di valutazione sulle attività (di dettaglio e statistica);
6. un sito WEB per l'accesso al sistema da parte dei diversi attori coinvolti (Funzionari Responsabili, Ispettori Metrici, Laboratori Riconosciuti).

Gestione da Remoto delle Operazioni di Verifica e Sicurezza e Protezione dei Dati e dell'accesso alle Informazioni

In aggiunta agli strumenti SW, l'ICT fornisce importanti opportunità anche in termini di hardware. Si può considerare la possibilità di attivare direttamente sul campo (ad esempio durante le verifiche periodiche): i) acquisizione automatica dei dati, ii) verifica automatica degli strumenti via SW, iii) elaborazione dei

risultati e l'esito della verifica, iv) trasmissione ed aggiornamento delle informazioni.
L'utilizzo di PC palmari, protetti in termini di accesso e di gestione delle informazioni, può infatti semplificare ulteriormente il lavoro degli Ispettori sul campo, alleggerendoli allo stesso tempo delle operazioni derivanti dalla necessità di aggiornare le informazioni al ritorno in ufficio, attività che spesso richiede molto tempo. Molto interessante è la possibilità di gestire da remoto alcuni processi della Metrologia Legale. Le opportunità offerte dall'ICT in questa direzione sono molteplici, ma devono confrontarsi con le particolarità e con le esigenze del settore. Oggi sono disponibili alcune architetture di *internet calibration* (*i-cal*), con le quali è possibile effettuare tarature on-line da remoto in alcuni settori metrologici particolari, quali ad esempio, misuratori di frequenza per microonde (vector network analysers – VNA [16]) o per le radiazioni ionizzanti [17].
L'applicazione in altri settori metrologici delle tecniche di *i-cal* è sicura-mente più difficoltosa e meno praticabile (si pensi ad esempio alla metrologia della massa, per la quale il campione di riferimento SI è tuttora un prototipo materiale), a meno di non sfruttare la rete solo per alcuni processi (trasmissione ed elaborazione dei dati, assistenza all'operatore che effettua la taratura, validazione ed integrità del SW di gestione dello strumento).
In aggiunta a questo, il settore della Metrologia Legale non può, per la natura delle operazioni effettuate e per la maggior parte delle categorie di strumenti, prescindere dalla presenza sul posto di un Ispettore (o del personale del laboratorio riconosciuto), limitando di fatto le potenzialità del servizio. Molto delicato è infine il problema della sicurezza dei dati, che coinvolge diversi livelli di attività, dal terminale utilizzato in campo dall'Ispettore con trasmissione wireless dei dati, al monitoraggio dello stato di taratura del campione di riferimento.
Di seguito sono riportati alcune soluzioni ICT applicabili alla Metrologia Legale [19b] con i relativi aspetti critici che coinvolgono la sicurezza dei dati e la tutela del consumatore:

1. bollo metrico elettronico, mediante supporti RF-ID:
   - sullo strumento, per il controllo continuo da remoto dell'integrità fisica del bollo metrico e del mantenimento dei corretti parametri di taratura SW (sono anche utilizzabili come codice di avvio della procedura di verifica sul PC portatile utilizzato dall'Ispettore, come modalità di trasmissione di immagini);
   - sul campione di riferimento dell'Ufficio utilizzato per la verifica con caricamento automatico dei dati del certificato;
2. lettori biometrici di impronta digitale per l'identificazione certa dell'esecutore della verifica per evitare frodi attuate attraverso il furto d'identità;
3. trasmissione (e controllo) dati da remoto (client) a server centrale che può avvenire: i) via cavo telefonico, ii) via onde radio raccolte da apposito mezzo mobile, iii) via onde radio convogliate su appositi concentratori, e da qui via cavo telefonico; iii) via telefono GSM mediante invio di SMS. Il livello fisico utilizzabile è ethernet con protocollo https attraverso wap o GPRS a cui sono aggiunti algoritmi di crittografia proprietari sui dati per la protezione delle informazioni (elaborazioni, misure, esito delle verifiche) durante la trasmissione

Il Progetto e-verific@tion

Un valido esempio di applicazione di alcuni strumenti ICT nel settore della Metrologia Legale è il portale "*E-verific@tion"*, sviluppato nell'ambito del progetto di ricerca "*Qualità: L1 Antenna Metrologica*" [18, 19] finanziato dal MIUR al Palmer, Parco Scientifico e Tecnologico del Lazio Meridionale, in data 26/01/1998 ref 405/ric. e disponibile in versione demo all'indirizzo http://www.antennametrologica.it nella sezione *servizi_metrologici /software_metrologici*.

Il progetto *e-verific@tion* risponde all'esigenza di standardizzare ed informatizzare le principali attività metrico legali.

Esso consiste in un servizio telematico (*portale web*) che segue l'intero ciclo di vita della strumentazione metrico-legale allo scopo di fornire un adeguato ed efficiente supporto informatico agli addetti ai lavori, di accrescere la qualità del servizio metrico legale e di migliorare la tutela della "*fede pubblica*".

Esso potrà quindi rappresentare un utile strumento per la crescita di competitività del Sistema Italiano della Metrologia Legale favorendo le imprese coinvolte nei processi metrico legali (es. utenti e fabbricanti metrici, laboratori riconosciuti), attraverso l'aumento di efficacia ed efficienza nelle verifiche (prime e periodiche) dei laboratori metrici provinciali delle CCIAA, ed aumentando la capacità di controllo e supervisione dell'Ufficio Centrale Metrico.

Nella Tabella che segue si riporta in forma schematica per ciascuno degli elementi caratteristici una descrizione degli aspetti connessi, delle criticità affrontate e delle relative soluzioni adottate o pianificate.

Elemento	***Descrizione***	***Criticità***	***Soluzione***
Database (archivio e cronologico)	*Struttura organizzata di dati e documenti di riferimento, di registrazioni cronologiche di varie attività con collegamenti a documenti originali (modelli di riferimento e moduli compilati)*	- *numero, dimensione e tipo di dati (moduli, documenti, dati puntuali);* - *distribuzione delle competenze (diversi attori in diversi luoghi con diverse responsabilità);* - *garanzia di mantenimento dati;* - *accessi controllati;* - *registrazione degli accessi;* - *garanzia di servizio sempre in linea.*	*La struttura HW può prevedere un server inserito in una server Farm dotata di garanzie di protezione ambientale ed informatica. Sistemi e software utilizzati sono strutture commerciali impiegati in ambienti di pari criticità (Istituzioni Pubbliche, Banche, Grosse Aziende).*
Collegamento al SW EUREKA delle CCIAA	*Struttura per lo scambio di dati con le Anagrafiche Strumenti*	- *accessi controllati;* - *garanzia di servizio sempre in linea.*	*Numerose soluzioni commerciali disponibili per realizzare accessi sicuri punto-punto.*

Elemento	***Descrizione***	***Criticità***	***Soluzione***
Sito WEB	*Portale per l'accesso INTERNET.*	- *accessi controllati;* - *garanzia di servizio sempre in linea;* - *adeguata interfaccia utente;* - *manomissione, copia illegale e/o intrusione di dati.*	*Ogni accesso in lettura o scrittura di informazioni protette, sarà associato all'autenticazione dell'utente con smart card e, quindi, saranno impiegati software di crittografia legati alle chiavi personali degli utenti autorizzati.*
Librerie e SW di Calcolo	*Sistema e sofware validato per l'elaborazione di riferimento. Oggetti di Microsoft Office (es. MS Excel).*	*Il SW di calcolo potrà essere utilizzato per la valutazione sulla conformità di strumenti alla verifica prima o periodica.* *Deve esistere la garanzia 'a priori' della inalienabilità delle strutture di calcolo, una volta che le stesse sono state verificate sotto l'aspetto legislativo, normativo e scientifico da un comitato tecnico di esperti.* *Il SW deve essere utilizzato come una 'scatola nera' che garantsce:* - *il controllo sui dati di ingresso;* - *l'affidabilità del risultato;* - *- un tempo noto di elaborazione.*	*La garanzia sul calcolo sotto l'aspetto legislativo, normativo e scientifico deriva da uno specifico comitato di esperti del comitato tecnico.* *Queste librerie di calcolo sono validate sul server e sono gestite attraverso una distribuzione controllata di modelli con un software validato.* *Il mantenimento di questo stato di validazione del server è fatto attraverso il controllo automatico di chiavi di sicurezza codificate dai registri di configurazione del server.*
Help Desk	*Supporto all'utilizzo.*	*Aiuto in linea agli utenti.*	*Potranno essere previsti meccanismi automatici di raccolta delle segnalazioni di problemi e soluzioni, per costruire la base di dati dell'area FAQ.*

Tabella 3.1. – Criticità affrontate nella definizione della struttura del Portale Metrologico

L'architettura che ne deriva copre in vario modo i principali processi della Metrologia Legale, determinando di conseguenza ulteriori interrelazioni e dipendenze, come descritto nell'architettura del sistema descritto nella figura che segue:

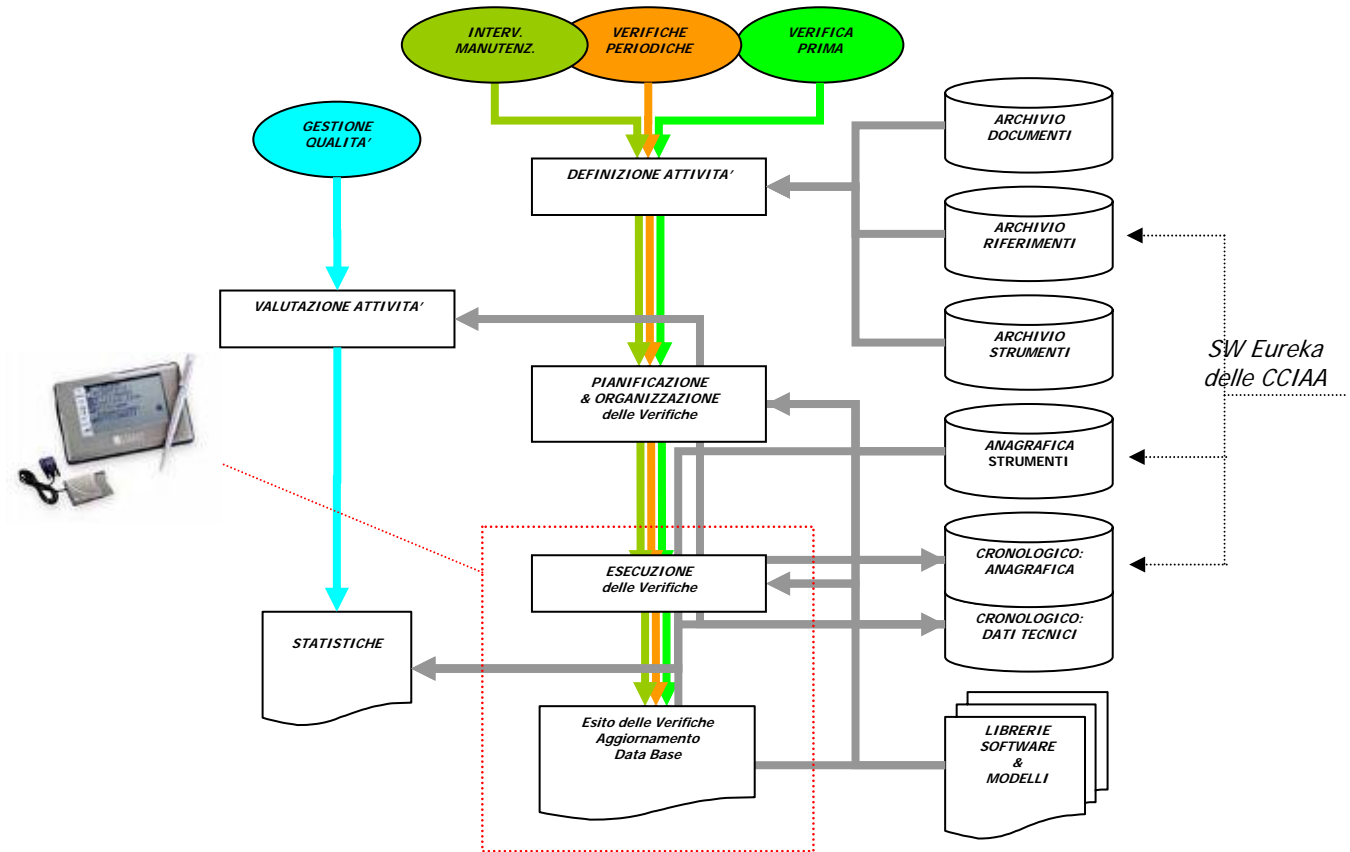



Figura 3.2. - Architettura di un Portale Metrologico per la Metrologia Legale

La struttura del servizio telematico prevede:

- un *tool* per gli uffici del Ministero dello Sviluppo Economico ed i Fabbricanti metrici nella formulazione/valutazione della domanda di approvazione di modello degli strumenti di misura (i.e fornendo la necessaria modulistica on-line e la possibilità di consultare le specifiche di legge), la domanda potrà seguire anche un iter documentale via SW, in modo da velocizzare alcune fasi e costituire un utile base dati per gli

ispettori metrici (suppletiva a quella cartacea di più complesso reperimento)

- un *tool* per gli Ispettori delle CCIAA ed i Fabbricanti metrici per la verifica prima, sia per fornire un modello ed iter validato dal punto di vista procedurale della verifica stessa (ciò consentirà anche una maggiore uniformità di giudizio, trasparenza e rapidità di valutazione), sia per fornire un ausilio nella documentazione e nei calcoli e nelle stime associate alla verifica
- un *tool* per gli Ispettori (CCIAA) e/o i Laboratori di Prova riconosciuti per la verifica periodica dove, accanto alle stesse facility fornite per la verifica prima, l'Utente potrà ricostruire, anche via remoto attraverso PC palmari, l'intera documentazione relativa alle azioni svolte ed alla storia dello strumento, con possibilità di effettuare statistiche
- un *help desk* a carattere esclusivamente metrico-legale per il supporto agli "*Utenti Metrici*" interessati (es. costruttori, ispettori metrici ed assistenti al servizio) per il coordinamento di domande/risposte, con relativa gestione di un archivio FAQ, di un FORUM per la consultazione di esperti ed infine di un WEB-link per l'accesso facile ai siti di interesse metrico-legale.

La struttura modulare del servizio consentirà lo svolgimento e l'interazione delle varie attività metrico-legali, individuando le unità responsabili (MAP, CCIAA, Uffici Metrici, Comitato Centrale, Fabbricanti Metrici) e definendone le aree ed i limiti di intervento, in funzione dei rispettivi ruoli istituzionali, in particolare per le attività di tipo:

- *infrastruttura gestionale* (Comitato Centrale Metrico, Unioncamere, Infocamere)
- *operativo* (Utenti Metrici, Costruttori di strumenti, Ispettori Metrici delle CCIAA, Laboratori riconosciuti
- *consultivo* (Utenti Metrici, Associazioni di Consumatori e Costruttori)

Le funzioni implementate nel servizio telematico potranno consentire quindi di strutturare, organizzare e rendere disponibile anche da remoto sia la documentazione metrico legale (norme, leggi, modulistica, procedure, …), sia i dati delle verifiche sugli strumenti di misura metrico-legali. Inoltre il software di gestione e tecnico implementato consentirà di standardizzare i principali processi della metrologia legale (e.g. approvazione di modello, gestione dell'accreditamento/riconoscimento, gestione dell'autocertificazione, ricerca delle informazioni di tipo legislativo e/o normativo, verifiche prime e periodiche, …) e quindi di migliorare i servizi metrologici degli uffici preposti mediante la messa a disposizione di SW di calcolo e gestionale. In particolare, l'interattività del software e la sperimentazione e l'uso della tecnologia palmare potrà consentire di guidare l'ufficiale metrico nelle operazioni di verifica prima e periodica nel pieno rispetto di tutte le procedure, sia tecniche che amministrative, e nella conformità con i regolamenti e le norme applicabili.

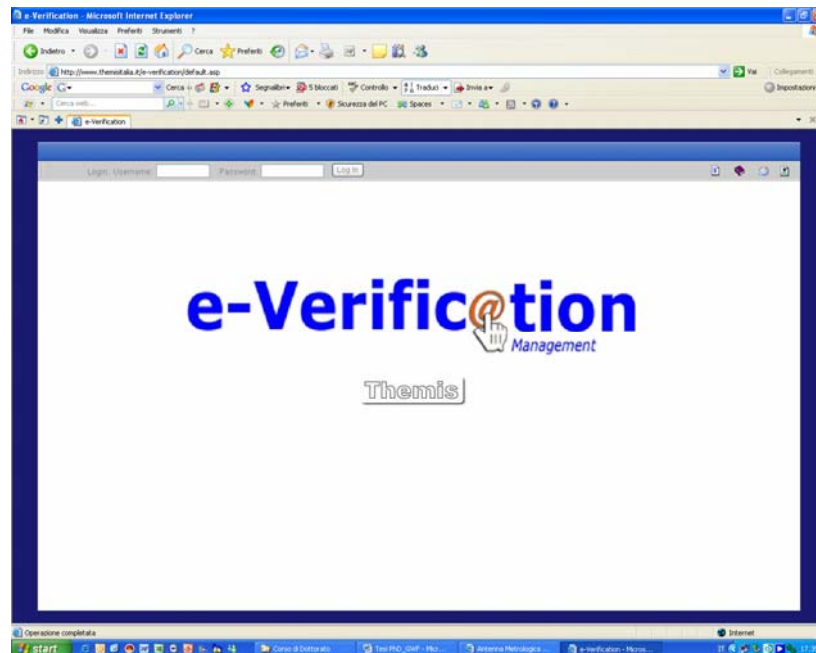



Figura 3.3. - La Homepage del portale *e-verification*

Il Portale *e-verification* (Figura 3.3.) è strutturato nel modo seguente:

- i) menu gestione utente;
- ii) menu gestione pratiche e corrispondenze;
- iii) menu gestione modello di strumento e sistemi
- iv) menu gestione degli strumenti installati;
- v) menu modelli, norme e raccomandazioni;
- vi) menu gestione del servizio

Menu Gestione Utente

Per la gestione ed il reperimento delle informazioni e riferimenti degli Organi Istituzionali e delle Organizzazioni responsabili a vario titolo della gestione degli aspetti di Metrologia Legale, quali ad esempio l'Autorità Nazionale (Ufficio D3 del Ministero dello Sviluppo Economico) e le Autorità Locali (Uffici provinciali delle Camere di Commercio), dei numerosi Laboratori riconosciuti ai sensi del DM 182/2000 [15], dei Fabbricanti Metrici, dei responsabili della manutenzione e, infine, degli utenti metrici finali presso i quali gli strumenti a valenza metrico-legale sono installati:

Figura 3.4. – Il Menu *"Gestione Utente"*

Menu Gestione Pratiche e Corrispondenze

Per la gestione delle richieste di legalizzazione metrico-legale di nuovi strumenti, di omologazione e di verificazione; per verificare la rispondenza dei decreti di approvazione per poter procedere alla verifica dello stato di avanzamento e dei risultati delle prove presso gli Organismi Notificati:

Figura 3.5. – Il Menu “*Gestione Pratiche e Corrispondenze*”

Menu Gestione dei modelli di strumenti e dei sistemi

Per la gestione dei modelli approvati, con la possibilità di accesso ad un data-base completo per le informazioni utili per gli Utenti Metrici registrati. L’area è organizzata nelle 10 sottocategorie degli allegati tecnici della MID. L’accesso alle informazioni è regolato da rigorose e sicure autorizzazioni informatiche ed è strutturato in maniera semplice attraverso una prima maschera di informazioni generali con ipertesti per il rapido download in forma protetta del documento di interesse (es. decreto di approvazione, prove effettuate, disegni progettuali).

Figura 3.6. –Menu “*Gestione dei Modelli di Strumenti e dei Sistemi*”

Menu Gestione degli Strumenti installati

Anche questa parte del menu è divisa nelle 10 categorie degli strumenti MID e tramite essa si può accedere ad un data-base completo, nel quale per ciascun item sono riportate informazioni in merito all’Utente Metrico, alle istruzioni di corretta installazione e manutenzione, alle informazioni sulle fasi metrico legali superate (legalizzazione iniziale, verificazione prima e periodica, procedure di rilegalizzazione eventuali, manutenzioni effettuate, conseguenze di guasti o malfunzionamenti, statistiche relative a consumi e contabilizzazioni).

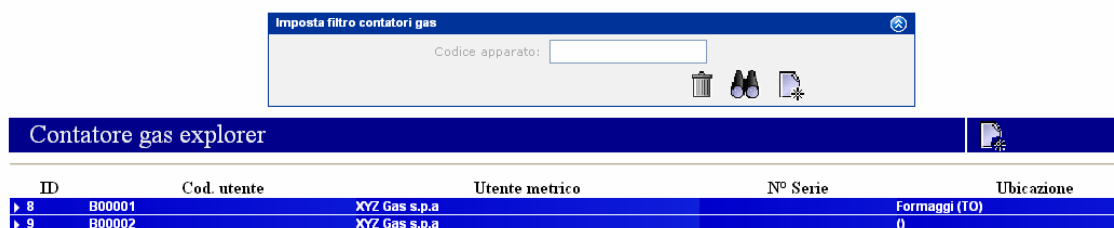
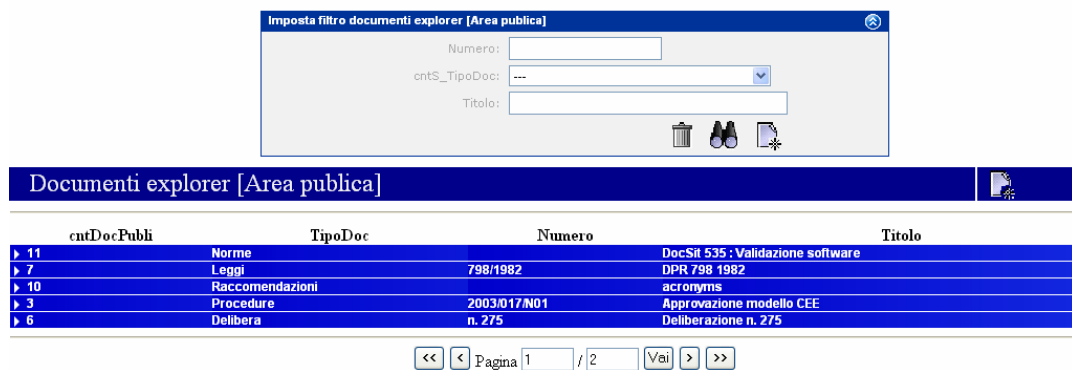



Figura 3.7. –Menu “*Gestione Strumenti Installati*”

Menu Modelli, Norme e Raccomandazioni

In quest'area sono messi a disposizione dell'Utente Metrico una serie di documenti, risoluzioni, procedure e raccomandazioni tecniche, norme e leggi di riferimento; è consentito anche il download dei documenti di interesse e l'accesso a fogli di calcolo valicati per la conduzioni delle corrette operazioni sul campo (verifica prima e periodica) e per la gestione delle elaborazioni, fino alla dichiarazione dell'esito finale dell'operazione, eventualmente il tutto anche direttamente sul posto mediante l'uso di PC Palmari.

Figura 3.8. –Menu "*Modelli, Norme e Raccomandazioni*"

In conclusione, la struttura modulare del portale *e-verification* può rappresentare un utile strumento per l'armonizzazione delle interazioni dei principali processi di metrologia legale, nell'interesse dei diversi Utenti ed Operatori Metrici (Autorità Locali e Nazionale, Fabbricanti ed Utenti Metrici, Manutentori, Consumatori Laboratori riconosciuti), ciascuno secondo le proprie aree di intervento e nel rispetto dei propri ruoli istituzionali.

Con il portale e-verification, o con analoghi strumenti informatici, potrà essere possibile:

a) fornire un data base completo delle informazioni e documenti, con modalità di accesso rapide, sicure ed efficaci

b) garantire la compatibilità e l'integrazione con gli analoghi sistemi informatici di gestione in uso (es. EUREKA per la rete delle Camere di Commercio)
c) collegare in tempo reale Uffici e persone lontane fisicamente per la condivisione delle informazioni
d) seguire l'intero ciclo di vita di ciascuno strumento metrico-legale, consentendo un semplice ed efficace aggiornamento delle informazioni e della documentazione ad esso relativa
e) fornire agli Ispettori metrici strumenti utili per la elaborazioni dei dati delle verifiche prime e periodiche, quali fogli di calcolo validati
f) consentire in tempo reale efficaci statistiche sulla decadenza delle caratteristiche metrologiche di ciascun modello (ad esempio dall'analisi degli ordini di aggiustaggio)
g) fornire un data base per l'analisi dei comportamenti anomali sul campo da parte di particolari modelli di strumento, allo scopo di garantire l'utente metrico, tutelare la fede del consumatore e di consentire al fabbricante attraverso l'analisi dei guasti di adottare le conseguenti azioni correttive per il miglioramento del progetto e della costruzione
h) consentire un rapido confronto dei dati metrologici direttamente sul campo, specialmente per gli strumenti a carattere innovativo e ad alto contenuto tecnologico.

Capitolo 4

L’allegato MI-002: Contatori del Gas

I modelli di contatori per gas combustibile, attualmente disponibili ed in uso, sono sostanzialmente riconducibili a tre principali famiglie:

- a membrane o pareti deformabili;
- a pistoni rotanti o rotoidi;
- a turbina.

Essi possono anche essere suddivisi in funzione della loro destinazione d’uso: il contatore a membrane o pareti deformabili è destinato alla misurazione di portate piccole e medie, con andamento variabile, mentre l’utilizzo degli altri due principi è rivolto a misure di portate medie e grandi, caratterizzate da andamenti più costanti nel tempo. Questi ultimi normalmente sono indicati per utilizzi industriali o impianti di riscaldamento centralizzati dove i bruciatori hanno consumi abbastanza costanti.
I contatori a membrana e i contatori a rotoidi sono misuratori di tipo volumetrico, in quanto effettuano la misura isolando fisicamente un volume costante e noto di gas ad ogni rotazione (volume ciclico), mentre, il contatore a turbina è un contatore di tipo non volumetrico.
Il campo di portata di un contatore di gas rappresenta l’intervallo entro il quale lo stesso deve poter funzionare, in regime continuo, nel completo rispetto delle prescrizioni metrologiche vigenti e senza che intervengano modifiche qualitative della misura tali da superare i limiti stabiliti.
Tale campo di portata viene delimitato, in basso, dalla portata minima Q_{min} ed, in alto, dalla portata massima Q_{max}. La portata nominale Q_{nom} indica, approssimativamente, la metà del campo di portata della classe in esame, fornendo la portata ideale di utilizzo del contatore (vedi Figura 4.1).

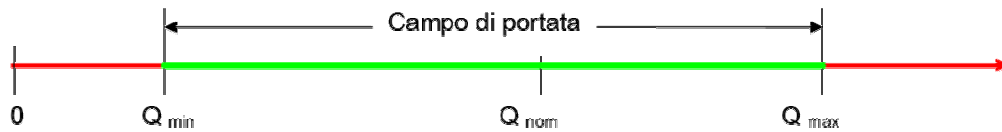



Figura 4.1 – Portate minima, nominale e massima di un contatore del gas

La classe del contatore, secondo la norma CEE 71/318 [20] – abrogata dalla MID, art. 22 - veniva indicata con la lettera G, seguita da un numero indicante la portata nominale Q_{nom} del contatore, espressa in m^3/h. Questa classificazione, effettuata in base ai valori della portata massima, di quella minima e del volume ciclico, è riportata nella tabella 4.1:

Classe	Q_{nom} $[m^3/h]$	Q_{max} $[m^3/h]$	Q_{min} $[m^3/h]$	*Volume Ciclico* $[dm^3]$	*Fondo Scala* m^3	*Risoluzione* dm^3
G 1,6	1,6	2,5	0,016	0,7	99˙999,999	1
G 2,5	2,5	4	0,025	1,2		
G 4	4	6	0,04	2		
G 6	6	10	0,06	3,5		
G 10	10	16	0,1	6	999˙999,99	10
G 16	16	25	0,16	10		
G 25	25	40	0,25	18		
G 40	40	65	0,4	30		
G 65	65	100	0,65	55		
G 100	100	160	1	100	9˙999˙999,9	100
G 160	160	250	1,6	200		
G 250	250	400	2,5	400		
G 400	400	650	4	900		
G 650	650	1000	6,5	2000		

Tabella 4.1 - Classificazione dei contatori di gas secondo la CEE 71/318

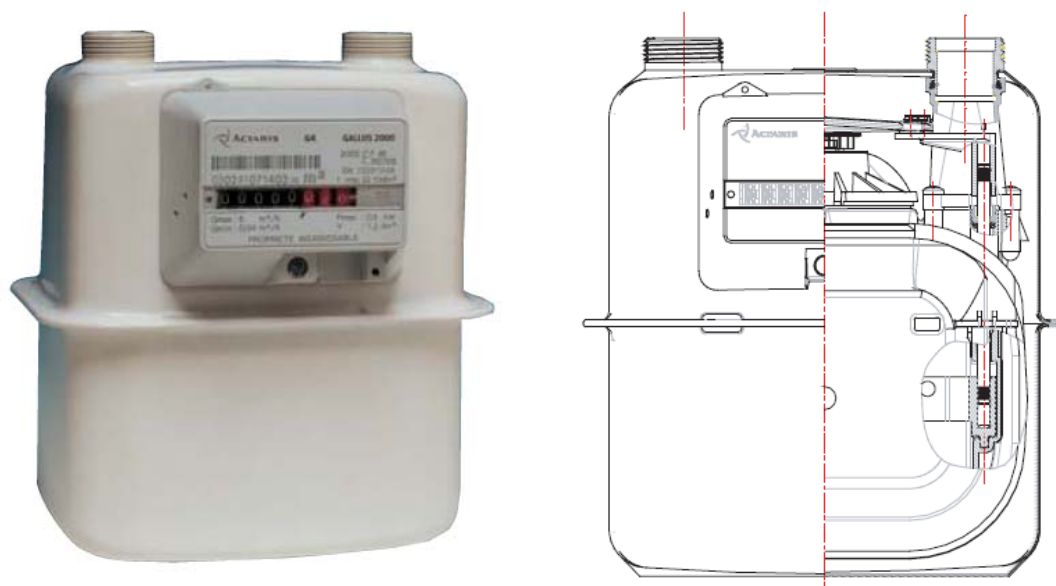
La classificazione della MID introduce una sostanziale semplificazione con l'individuazione di due sole classi, come riportato in tabella 4.2:

Classe	Q_{max}/ Q_{min}	Q_{max}/ Q_t	Q_r/Q_{max}
1,5	≥ 150	≥ 10	≥ 1,2
1	≥ 20	≥ 5	≥ 1,2

Tabella 4.2: Classificazione dei contatori di gas secondo la MID

Nella MID si adottano le seguenti definizioni:

- *Portata minima – Q_{min}* - è il minimo valore per cui il contatore del gas fornisce indicazioni che soddisfano i requisiti in materia di errore massimo permesso.
- *Portata massima – Q_{max}* – è il massimo valore per cui in cui il contatore del gas fornisce indicazioni che soddisfano i requisiti in materia di errore massimo permesso.
- *Portata di transizione – Q_t* - è il valore della portata che si situa tra la portata massima e la portata minima, e in cui il campo di portata è diviso in due zone, la "zona superiore" e la "zona inferiore". A ciascuna zona corrisponde un errore massimo permesso caratteristico.
- *Portata di sovraccarico – Q_r* - è la portata più elevata in presenza della quale il contatore può funzionare per un breve periodo di tempo senza deteriorarsi

Nella successiva figura 4.3. si riporta l'immagine e la scheda tecnica di un tipico contatore gas utilizzato per la contabilizzazione dei consumi domestici, prodotto dalla società *Actaris* nello stabilimento di Napoli (la classificazione si riferisce alla norma CEE 71/318 [20] abrogata dalla MID).

Caratteristiche tecniche

Tipo di gas		Gas naturale, LPG e tutti i gas non corrosivi
Volume ciclico		1,2 dm3
Temperatura di funzionamento		da -20°C a + 50°C
Temperatura di immagazzinaggio		da -40°C a +60°C
Max. temperatura di funzionamento		0,5 bar per versione in acciaio1,5 bar per versione in alluminio
Gamma di misura	G 1.6	Qmin 0,016 m3/h
		Qmax 2,5 m3/h
	G2.5	Qmin 0,025 m3/h
		Qmax 4 m3/h
	G4	Qmin 0,04 m3/h
		Qmax 6 m3/h
Generatore impulsi		Versione standard 0,01 m3/impulso
		Opzionale 0,1 m3/ impulso
Trasmettitore impulsi		Sistema LF aggiornabile. Max 12 Vcc - standard max 10 mA 0,01 m3/impulso, fissaggio fili mediante presa jack e blocco di connessione
Colore		RAL 9010

Figura 4.3 - Contatore Gas a *Membrana* e relative caratteristiche tecniche , *Actaris, Gallus 2000*

Il contatore *Gallus 2000 di Actaris* è del tipo *volumetrico a membrana* con un'unità di misurazione autonoma a due camere. Ognuna delle due camere è fornita di una membrana flessibile e a tenuta di gas, che viene messa in movimento dal differenziale tra la pressione di ingresso e di uscita. Il gas entra da una parte delle camere di misura, ed esce dall'altra parte trasferendo un volume, definito "*volume ciclico*" (pari a 1,2 dm^3). Quando una parte è piena, il cassetto rotante si muove verso la posizione successiva, permettendo al gas di riempire la parte vuota. Un meccanismo di trasmissione e un accoppiamento meccanico trasferiscono il moto alternativo al totalizzatore meccanico aggiornabile.

I Requisiti MID per i Contatori del Gas

Il fabbricante deve specificare l'intervallo di temperatura del gas, con un intervallo minimo di 40 °C. Lo strumento deve essere progettato per la gamma di gas e per l'intervallo di pressioni di erogazione in uso nel paese di destinazione.
Il fabbricante deve considerare un intervallo termico minimo di 50 °C per quanto concerne l'ambiente climatico e, inoltre, deve specificare:

- la famiglia o gruppo cui appartiene il gas;
- la pressione massima di funzionamento;
- il valore nominale della tensione di alimentazione in corrente alternata e/o i limiti dell'alimentazione in corrente continua, ove applicabile.

Nella Tabella 4.3. si riportano gli *errori massimi tollerati* per i contatori del gas, come definiti dalla Direttiva MID (allegato MI-002):

Classe	1,5	1,0
$Q_{min} < Q < Q_t$	3 %	2 %
$Q_t < Q < Q_{max}$	1,5 %	1 %

Tabella 4.3. – Errori massimi tollerati per contatori del gas MID

Quando gli errori tra Q_t e Q_{max} hanno tutti lo stesso segno, essi non debbono superare l'1 % per la classe 1,5 e lo 0,5 % per la classe 1.0

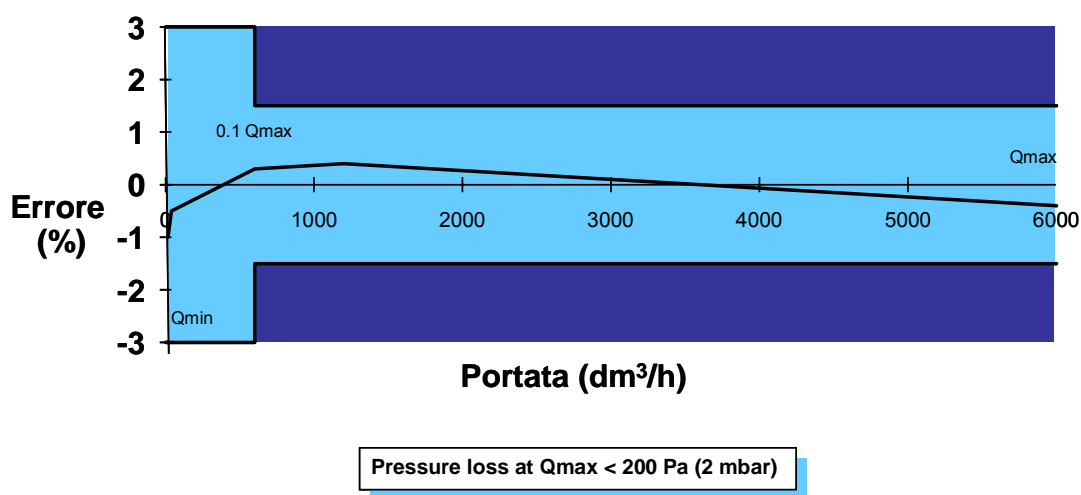



Figura 4.4 – Tipica Curva di Errore per un Contatore Gas (rif. Norma EN 1359:1998)

In presenza di *Disturbi Elettromagnetici*:

- la variazione della misurazione non deve superare il valore di variazione critico, pari al più piccolo tra i) la quantità corrispondente alla metà della grandezza dell'errore massimo permesso nella zona superiore del volume misurato e ii) la quantità corrispondente all'errore massimo permesso sulla quantità corrispondente ad un minuto alla portata massima
- l'indicazione del risultato della misurazione sia tale da non poter essere interpretato come risultato valido, quale una variazione momentanea che non può essere interpretata, memorizzata o trasmessa come un risultato della misurazione

Dopo aver subito un'interferenza elettromagnetica, il contatore del gas deve:

- riprendere il funzionamento entro l'errore massimo permesso,
- conservare l'integrità di tutte le funzioni di misurazione,
- recuperare i dati di misurazione presenti immediatamente prima del disturbo.

L’effetto di disturbi a monte e a valle del misuratore, nel quadro delle condizioni di installazione specificate dal Fabbricante, non dovrà superare un terzo dell’errore massimo permesso.

Per quanto riguarda invece la *durabilità*, la variazione del risultato della misurazione dopo la prova rispetto al risultato della misurazione iniziale per le portate nei campi di funzionamento da Q_t a Q_{max} non deve superare per i contatori di classe 1,5 di più del 2% il risultato della misurazione (1/3 di EMT per la classe 1,0). L'errore di indicazione dopo la prova di durabilità non deve superare per la classe 1,5 il doppio dell'errore massimo tollerabile (un EMT per la classe 1,0).

Nella tabella che segue si riporta la nuova scheda tecnica del contatore del gas Gallus 2000 di Actaris, come modificata nell’ambito del processo di ottenimento della conformità alla Direttiva MID.

Classe	1,5			
Portata massima	Q_{max} [m^3/h]	6	4	2,5
Portata di transizione	Q_t [m^3/h]	0,6	0,4	0,25
Portata minima	Q_{min} [m^3/h]	0,040	0,025	0,016
Portata di sovraccarico	Q_r [m^3/h]	7,2	4,8	3,0
Pressione nom. di funzionamento	- 0,5 bar per contatori in lamiera - 1,5 bar per contatori in alluminio			
Volume ciclico	[dm^3]	1,2		
Entità dell'impulso	[dm^3]	10		
Minima lettura apprezzabile	[dm^3]	1		
Minima divisione	[dm^3]	0,2		
Temperatura ambiente e del gas	[°C]	da - 25°C a + 55		
Temperatura di stoccaggio	[°C]	da - 40°C a + 70°C		
Classificazione elettromagnetica	E2			
Classificazione meccanica	M1			
Classificazione ambientale	“H3”			

Tabella 4.4. – Classificazione MID per il contatore Gallus 2000 di Actaris

La Verifica dei Contatori del Gas

Un impianto per la taratura e verifica di contatori del gas di varia taglia, industriali e domestici, è normalmente costituito da i) una campana gasometrica, ii) una prima rampa per la verifica contemporanea di contatori domestici, iii) una seconda rampa per la verifica di contatori industriali (G10 – G25) e iv) una clèssidra campione.
La riferibilità metrologica è garantita attraverso lo schema seguente:

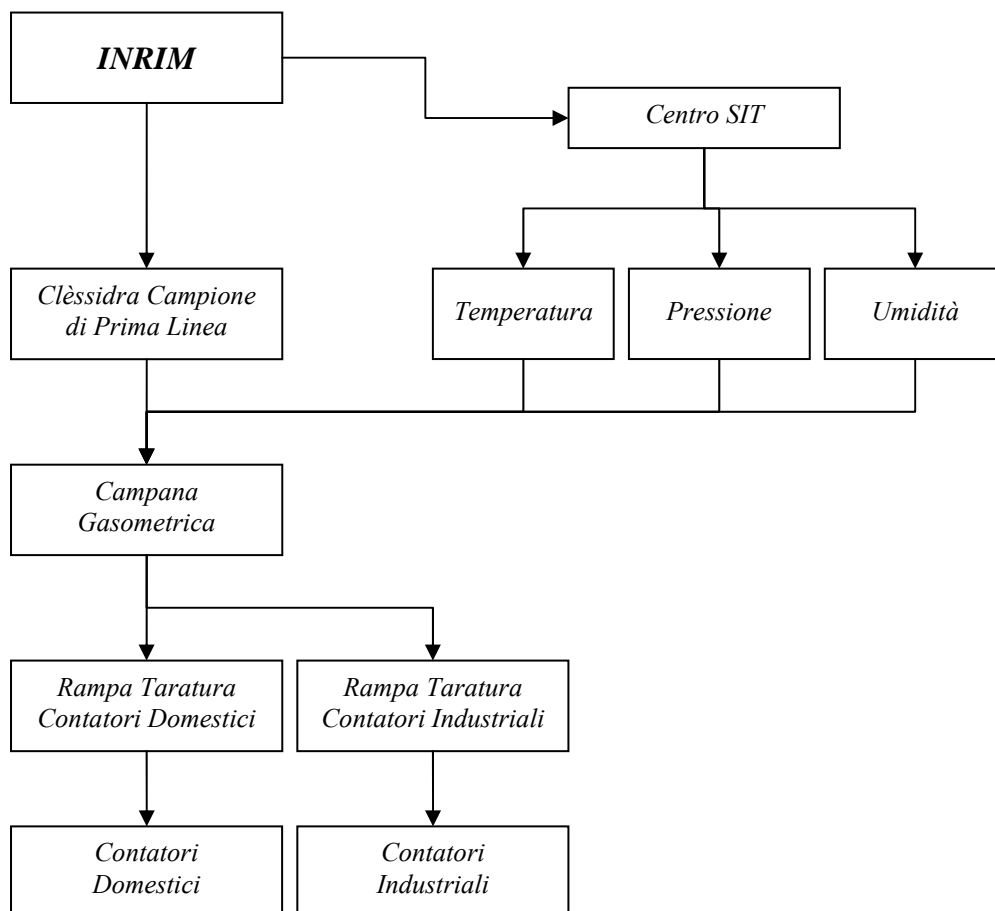



Figura 4.5. - Catena di riferibilità per un contatore del gas

Nell’ambito del presente lavoro di tesi è stata definita una procedura completa di caratterizzazione di un impianto per la taratura e verifica dei contatori del gas,

successivamente sperimentata nell'ambito di una Convenzione di Ricerca con la Società Sacofgas 1927 Spa di Città di Castello (PG), avente per obiettivo, tra gli altri, l'aggiornamento dell'impianto in dotazione al LAMI, Laboratorio di Misure Industriali dell'Università di Cassino, sezione *volumi e portate*, installato nel 2000 e costruito da Sacofgas.

Caratterizzazione Sperimentale di un Impianto per la Verifica dei Contatori del Gas Domestici ed Industriali

L'impianto per la verifica e caratterizzazione metrologica dei contatori del gas, come detto, è costituito da tre elementi fondamentali:

1. una clèssidra campione di riferimento ad acqua (campione primario),
2. un sistema a campana gasometrica (campione secondario) della capacità nominale di 550 L, del tipo *Kromshroder* [21, 22], per la realizzazione dei volumi di riferimento
3. un banco di collaudo con sette postazioni, di cui sei in serie per contatori domestici ed una per contatori industriali completa di un sistema di automazione e comando, acquisizione, elaborazione e gestione dell'intero impianto (valvole, modulanti, sensori, PC e PLC) e delle operazioni di verifica

Nella successiva Figura 4.6. si riporta uno schema complessivo dell'impianto. Come si può notare una valvola elettropneumatica a tre vie posta tra CG e banco di collaudo indirizza il flusso d'aria di prova in due linee: i) contatori industriali (interasse 280 mm), ii) contatori domestici (interasse 110 o 250 mm).

:

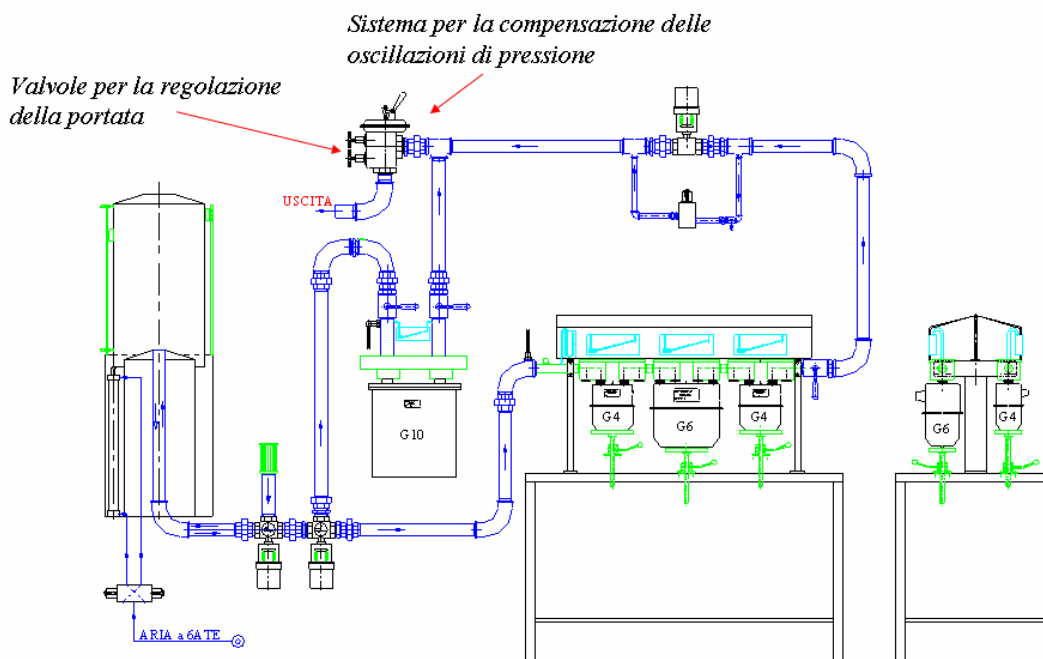



Figura 4.6. - Rappresentazione schematica dell’impianto di taratura e verifica contatori gas

I contatori verificabili sono di tipo volumetrico con totalizzatore generalmente meccanico a tamburelle, (otto cifre con separazione tramite una virgola fra interi e tre cifre decimali [3]). L’ambiente di lavoro [23] in cui il banco opera deve essere dotato di un impianto di condizionamento opportunamente dimensionato per garantire uno scarto massimo di temperatura durante la prova pari a ±2 °C in un campo di temperature compreso tra 20 e 24 °C. L’umidità relativa ambiente deve invece essere compresa nell’intervallo 50÷60 %UR.

Nel seguito viene riportata una descrizione dei 3 elementi costitutivi dell’impianto.

1. Clèssidra Campione (CC) - La CC realizzata utilizzata è in acciaio inossidabile con capacità nominale di 50 L. La riferibilità metrologica viene garantita mediante taratura presso l’Istituto Primario di Metrologia INRIM di Torino, reparto Volumi. La parte mediana della CC ha forma cilindrica, delimitata inferiormente e superiormente da due tronchi di cono inclinati di circa 60° rispetto alla verticale; tale geometria facilita il drenaggio del liquido e ne riduce la possibilità d’ingresso di aria, che perturberebbe l’effettivo valore del volume. La CC è dotata di:

- sistema di calibrazione, costituito da due tamponi per la regolazione *fine* e *grossolana*, (da bollare in fase di taratura e verifica prima della CC);
- indicatori di livello a bolla per un preciso livellamento dello strumento,
- valvole di comando per la realizzazione delle fasi di carico e scarico dell'acqua (concorrono alla realizzazione del volume "*certificato*");
- termometro per la misura della temperatura dell'acqua nella CC (t_{CC});
- vetro trasparente, in corrispondenza del collo della sezione di misura, per la determinazione del livello di colonna d'acqua residua nella CC.

Nella successiva Figura 4.7. si riporta una rappresentazione schematica della CC.

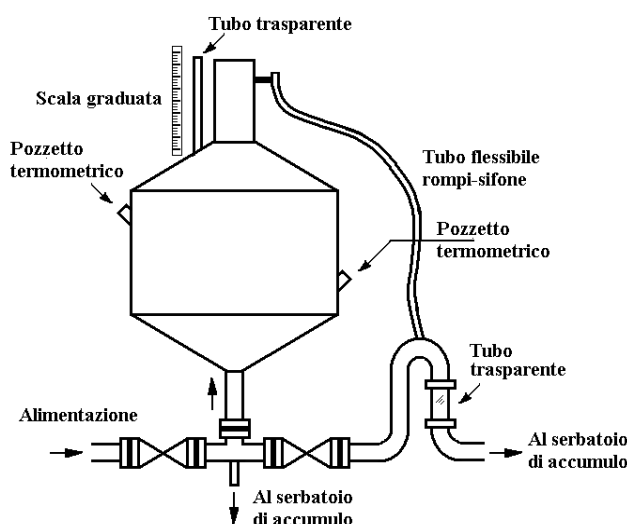



Figura 4.7. - Rappresentazione schematica e foto della clèssidra campione (CC)

La CC opera dunque per riempimenti successivi (*bottling*) di acqua distillata ($t_{acqua}=t_{CC}$), preventivamente condizionata per un tempo minimo di 24 ore alla temperatura ambiente del laboratorio, determinando per confronto e in maniera discreta (secondo multipli interi del volume certificato della CC) il volume effettivo erogato dalla campana gasometrica..

<u>2. Campana Gasometrica (CG)</u> - La CG è il campione di volume di seconda linea dell'impianto ed è di tipo Kromshroder [21, 22]. Strumenti analoghi sono utilizzati da oltre un secolo per la verifica e la taratura di contatori del gas, grazie essenzialmente alla semplice concezione, alla non particolare complessità costruttiva e d'uso, alla tenuta perfetta ed alla capacità di erogare un flusso di gas a pressione pressoché costante. Nell'impianto oggetto della sperimentazione, il volume nominale della CG è pari a 550 L, e pertanto sono stati necessari 11 cicli successivi per la caratterizzazione nell'intero campo di misura.

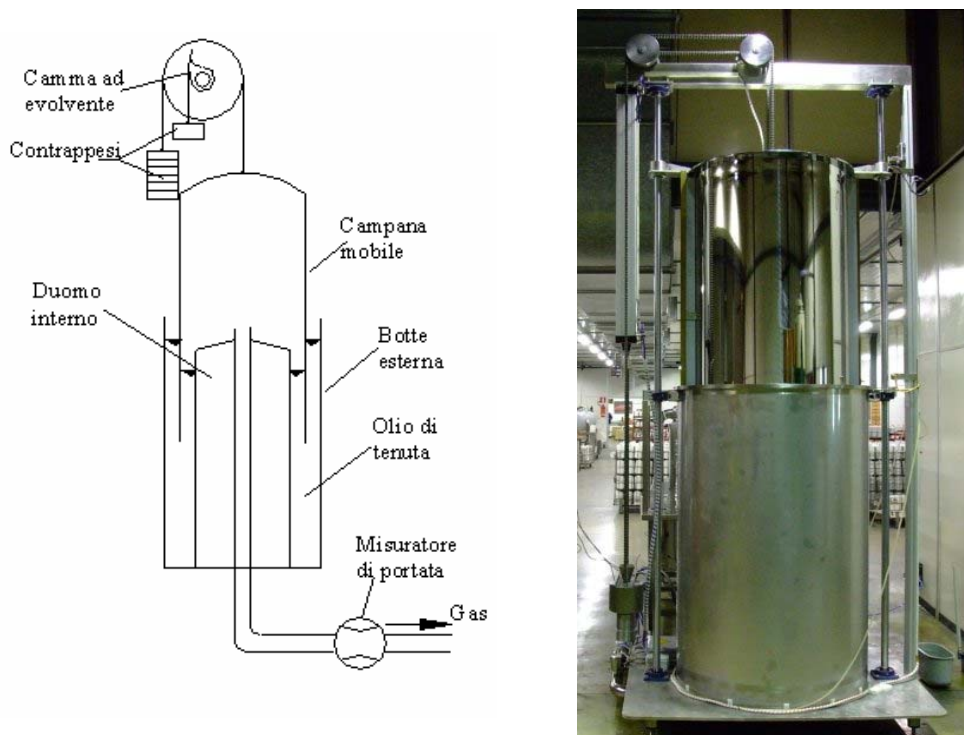



Figura 4.8. - Rappresentazione schematica e foto del Gasometro a Campana

La CG è mantenuta in sospensione attraverso un sistema di pulegge e, sotto il proprio peso, s'immerge in un contenitore (tino) pieno d'olio a bassa viscosità [23, 24], scorrendo lungo due barre verticali per mezzo di manicotti a ricircolo di sfere, che garantiscono minimo attrito ed un perfetto allineamento (< 0,1 mm tra il punto morto superiore e quello inferiore).

La parte centrale del sistema è occupata dal duomo, da cui emerge un tubo attraverso il quale effluisce l'aria contenuta sotto la CG, successivamente spinta verso il banco di collaudo durante la sua discesa in virtù della sovrapressione rispetto all'ambiente. La CG è parzialmente contrappesata da una serie di masse variando le quali è possibile ottenere il valore di sovrapressione interna nominale di progetto (circa 10 mbar). A tal fine è possibile agire anche su masse aggiuntive, applicabili sul fondello superiore della CG. La tenuta rispetto all'esterno è garantita dal bagno d'olio.
La CG è corredata da diversi strumenti di misura:

- riga ottica assoluta, corsa utile circa 1,280 m, risoluzione 1 μm, per le variazioni di quota della CG durante le traslazioni verticali,
- asta d'ottone a valore Metrico Legale, da punzonare a cura dell'Ufficio Metrico locale in corrispondenza delle quote coincidenti ai 50 L nominali determinati per mezzo del confronto con i volumi d'acqua spillati dalla CC (tra due punzonature l'asta è graduata; la serigrafia tra esse presente è ottenuta per interpolazione geometrica);
- termometro (normalmente a resistenza), risoluzione 0.1 °C per la rilevazione della temperatura dell'aria nella CG ($t_{aria,CG}$);
- termometro digitale (anche a liquido), risoluzione 0,1 °C per la rilevazione della temperatura dell'olio nella CG (t_{olio}=t_{CG});
- trasduttore di pressione relativa, risoluzione 0,01 mbar, per la rilevazione della pressione relativa dell'aria all'interno della CG ($P_{aria,CG}$);
- trasduttore di pressione assoluta, risoluzione 0,1 mbar, per la rilevazione della pressione assoluta dell'aria all'interno della CG ($P_{aria,CG}$).

3. Banco di Collaudo per Contatori Domestici ed Industriali - L'impianto caratterizzato prevede una valvola elettropneumatica a tre vie posta tra CG e banco, in grado d'indirizzare il flusso d'aria di prova nei due rami distinti del sistema: i) contatori *industriali* (1 postazione, interasse 280 mm) e ii) contatori *domestici* (6 postazioni, interassi 110 o 250 mm) [25, 26, 27, 28].
Una rappresentazione schematica del banco di collaudo è riportata in Figura 4.9:

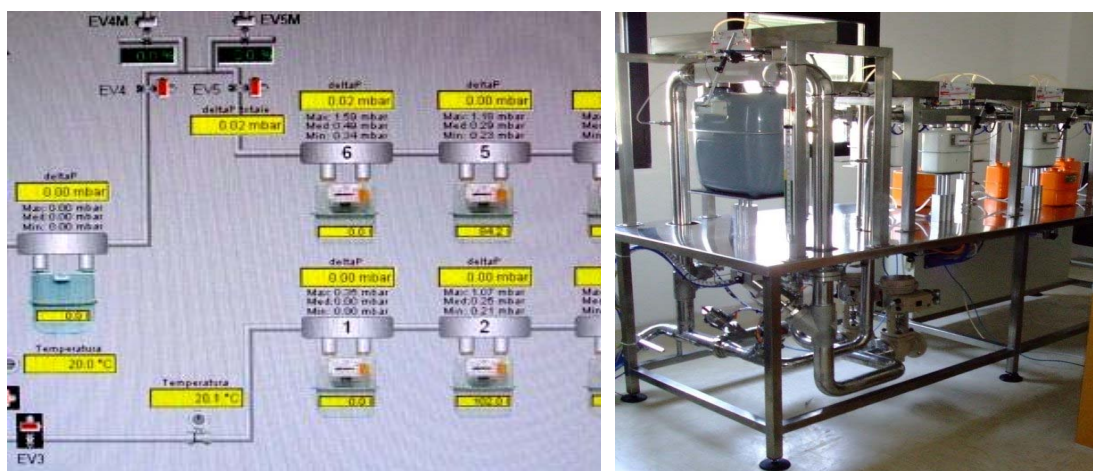



Figura 4.9. - Schema e foto banco di collaudo, con rampa contatori domestici e industriali

Il banco è corredato dalla seguente strumentazione di misura:

- n.2 sensori di temperatura, risoluzione 0.1 °C, disposti a monte dei rami dell’impianto che alimentano le sezioni di prova dei contatori *domestici* ed *industriali*
- n. 2 misuratori di pressione relativa (manometro ad “U”), campo di misura -150÷150 mmH_2O, risoluzione 1 mmH_2O disposti a valle di ognuno di dei due rami, per misurare la caduta di pressione complessiva indotta dalla serie di sei contatori domestici e del contatore industriale;
- n.2 trasduttori di pressione differenziale per ciascuna postazione, di cui uno analogico a colonna inclinata di liquido, risoluzione 1 mmH_2O, valido per il controllo metrico-legale ed uno digitale, risoluzione 0,1 mbar, necessario per il sistema di acquisizione automatica delle letture

Il banco è governato da un PLC e da un PC in cui sono installati un supervisore per il PLC per la gestione e controllo dell’intero impianto. Nell’immagine che segue si riporta il quadro sinottico attraverso il quale è possibile governare l’impianto ed ottenere i dati di misura in tempo reale.

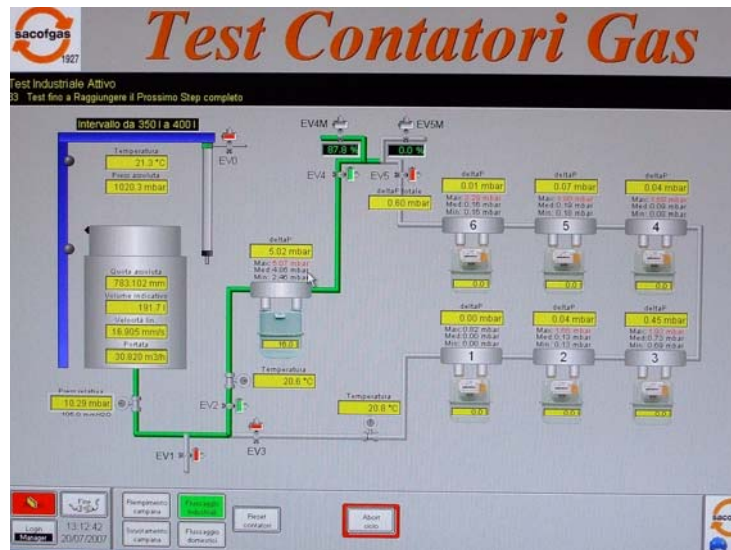



Figura 4.10 - Quadro Sinottico dell'impianto

Nella Tabella 4.5 che segue si riporta la simbologia utilizzata durante la raccolta dati e l'elaborazione dei risultati della caratterizzazione sperimentale dell'impianto.

Descrizione	***Simbolo***	***um.***
Aumento della pressione parziale del vapore	$\Delta P_{vap.}$	*Pa*
Baricentro volume di prova all'interno CG dal pavimento	$h_{medio,CG}$	*m*
Baricentro volume di prova all'interno CC dal pavimento	$h_{medio,CC}$	*m*
Differenza del fattore di compressibilità tra CG e CC	ΔZ	*adim.*
Differenza di Pressione dell'aria tra fine ed inizio in CG	$\Delta P''$	*Pa*
Differenza di Pressione dell'aria tra inizio e fine in CC	ΔP_{CC}	*Pa*
Differenza di Pressione dell'aria tra la CC e la CG	$\Delta P'$	*Pa*
Differenza di Temperatura della CG dai 20°C	Δt_{CG}	*K*
Differenza di Temperatura della CC dai 20°C	Δt_{CC}	*K*
Differenza di Temperatura della scala dai 20°C	Δt_{SC}	*K*
Differenza di Temperatura dell'aria tra la CG e la CC	Δt	*K*
Errore complessivo commesso dal gasometro	E_{CG}	dm^3
Errore differenza di quota aria nella CC e il pavimento	$E_{\Delta q''}$	dm^3
Errore differenza di quota dell'aria nella CG e il pavimento	$E_{\Delta q'}$	dm^3
Errore variazione di pressione dell'aria tra la CG e la CC	$E_{\Delta P'}$	dm^3
Errore variazione di pressione in CG iniziale e finale	$E_{\Delta P''}$	dm^3
Errore variazione di pressione in CC iniziale e finale	$E_{Sif.}$	dm^3
Errore variazione di temperatura dell'aria tra la CG e la CC	$E_{\Delta t}$	dm^3
Errore variazione di temperatura pareti della CG dai 20°C	$E_{t,CG}$	dm^3

Descrizione	***Simbolo***	***um.***
Errore variazione di temperatura pareti della CC dai 20°C	$E_{t,CC}$	dm^3
Errore variazione fattore compressibilità Z tra la CG e la CC	$E_{\Delta Z}$	dm^3
Errore variazione umidità relativa dell'aria tra la CG e la CC	$E_{\Delta Ur}$	dm^3
Fattore di compressibilità in CG	Z_{CG}	*adim.*
Fattore di compressibilità in CC	Z_{CC}	*adim.*
Incertezza k=2	U_{CG}	dm^3
Pressione Atmosferica	P_{amb}	*Pa*
Posizione assoluta finale della CG	$H_{CG,f}$	*dm*
Posizione assoluta iniziale della CG	$H_{CG,i}$	*dm*
Pressione di saturazione del vapore in CG	$P_{sat.vap.CG}$	*Pa*
Pressione di saturazione del vapore in CC	$P_{sat.vap.CC}$	*Pa*
Pressione finale dell'aria all'interno della CG	$P_{aria,CG,f}$	*Pa*
Pressione finale dell'aria all'interno della CC	$P_{aria,CC,f}= P_{atm}$	*Pa*
Pressione iniziale dell'aria all'interno della CG	$P_{aria,CG,i}$	*Pa*
Pressione iniziale dell'aria all'interno della CC	$P_{aria,CC,i}= P_{atm}$	*Pa*
Pressione media dell'aria all'interno della CG	$P_{aria,CG,m}$	*Pa*
Pressione media dell'aria all'interno della CC	$P_{aria,CC,m}$	*Pa*
Pressione parziale del vapore in CG	$P_{vap.CG}$	*Pa*
Pressione parziale del vapore in CC	$P_{vap.CC}$	*Pa*
Spostamento CG	Δh	*dm*
Temperatura Ambiente	t_{amb}	*°C*
Temperatura della scala	t_{SC}	*°C*
Temperatura media dell'aria all'interno della CG	$t_{aria,CG}$	*°C*
Temperatura media dell'aria all'interno della CC	$t_{aria,CC}$	*°C*
Temperatura media delle pareti della CG	$t_{olio}=t_{pareti,CG}$	*°C*
Temperatura media delle pareti della CC	$t_{acqua}=t_{CC}$	*°C*
Umidità relativa dell'aria all'interno della CG	UR_{CG}	*%*
Umidità relativa dell'aria all'interno della CC	UR_{CC}	*%*
Volume complessivo iniziale nell'impianto	$V_{SIST,i}$	dm^3
Volume complessivo finale nell'impianto	$V_{SIST,f}$	dm^3
Volume CG corretto	$V_{CG,corr}$	dm^3
Volume nominale CG	V_{CG}	dm^3
Volume CC corretto	$V_{CC,corr}$	dm^3

Tabella 4.5. – Simbologia utilizzata

Per le misure oggetto della caratterizzazione sperimentale è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- n. 1 TRP a 3 fili, campo di misura -50÷400 °C, Classe B (EN 60751), risoluzione 0.1 °C per la rilevazione della temperatura dell'aria all'interno della campana gasometrica ($t_{aria,CG}$);
- n. 1 Termometro digitale, Classe B (EN 60751 [29]), risoluzione 0,1 °C per la rilevazione della temperatura dell'olio nella campana gasometrica (t_{olio}=t_{CG});
- n. 1 Trasduttore di pressione relativa, risoluzione 0,01 mbar, per la rilevazione della pressione relativa dell'aria all'interno della campana gasometrica ($P_{aria,CG}$);
- n. 1 Trasduttore di pressione assoluta, risoluzione 0,1 mbar, per la rilevazione della pressione relativa dell'aria all'interno della campana gasometrica ($P_{aria,CG}$).
- Lettore multicanale di temperatura, costruttore Keithley, modello 2700, matricola 1113406, certificato di taratura n. 07TS/03/09 emesso in data 05/03/07da TERSID (SIT 169), completo di:
  - termoresistenza Pt100 a 4 fili costruttore MINCO, matricola SOL-07, sul canale 110, (verificato nel LAMI prima di ciascuna campagna di misure con determinazione dell'errore a 20°C), per la rilevazione della temperatura ambiente (t_{amb});
  - termoresistenza Pt100 a 4 fili costruttore MINCO matricola SOL-09, sul canale 109 (verificato nel LAMI prima di ciascuna campagna di misure con determinazione dell'errore a 20°C) per la rilevazione della temperatura dell'olio della campana gasometrica (t_{olio} = t_{CG});
  - termoresistenza Pt100 a 4 fili costruttore MINCO matricola SOL-12, sul canale 108 (verificato nel LAMI prima di ciascuna campagna di misure con determinazione dell'errore a 20°C) per la rilevazione della temperatura dell'acqua nella clèssidra campione (t_{acqua} = t_{CC});
- Barometro costruttore RUSKA, matricola 53738,certificato di taratura n. 271/04 emesso da IMGC/INRIM in data 13/05/2004 per la rilevazione della pressione atmosferica all'interno del laboratorio (P_{atm});

- Igrometro costruttore Delta Ohm matricola 02008275, certificato di taratura n. 005/07 emesso da LAMI (SIT 105) in data 30/03/07 per la rilevazione della umidità relativa dell'aria all'interno del laboratorio (*UR*);
- Igrometro, costruttore Protimiter, matricola 410199, certificato di taratura n. 009/07 emesso da LAMI in data 05/02/07 per la rilevazione della umidità relativa dell'aria nella Clèssidra (UR_{CC}).
- Clessidra campione (CC), costruttore SACOFGAS, matricola C1 di volume nominale pari a 50 L, proprietà SACOFGAS, con certificato di taratura n. 354/2002 emesso in data 18-06-2002 dall' IMGC di Torino (oggi INRIM);
- Termometro a mercurio, risoluzione 0,1 °C per la rilevazione della temperatura nella clèssidra campione di riferimento ($t_{acqua} = t_{CC}$).

La CG è costituita da un cilindro cavo; l'aria racchiusa sotto il cilindro e sopra il bagno d'olio, costituisce un volume noto di gas, certificato dalla taratura della CG.

Il volume d'aria spazzato dalla CG ed erogato verso il banco di prova viene indicato tramite un regolo solidale con la CG.

I tratti del regolo che fanno fede, ai fini dell'utilizzazione della CG in applicazioni di Metrologia Legale, sono quelli corrispondenti ai volumi del campione primario di riferimento (*clèssidra, CC*). Lo spostamento del regolo viene rilevato, oltre che tramite un indice solidale con il contenitore esterno della CG, anche attraverso un encoder assoluto solidale con la CG.

La procedura di caratterizzazione metrologica adottata per la sperimentazione si basa sulla metodologia descritta nella norma UNI CIG 7988 (paragrafo 2.5) [26], in riferimento al caso di CG utilizzante olio come guardia idraulica e CC ad acqua. La verifica metrologica della CG consiste, quindi, nell'accertarsi che due tratti consecutivi del regolo traguardati corrispondano al volume del campione primario utilizzato CC.

L'errore massimo permesso per la CC è pari allo 0,2% [30]; tuttavia, in considerazione del fatto che la Direttiva MID prevede un errore massimo permesso (EMT) per i contatori in prova pari almeno a 1,5% della quantità erogata e che in sede di approvazione di modello e verifica metrico legale, i campioni di riferimento devono avere una incertezza massima pari a 1/5 dell'errore massimo permesso per lo

strumento in prova, si può adottare, al fine di stabilire il criterio di valutazione della conformità della CG, la seguente relazione:

$$\frac{|E|+U}{Q}\times 100 \leq 0,3$$

avendo indicato con:

- *E*, l'errore sistematico medio rispetto al valore nominale del volume rilevato,
- *U*, l'incertezza estesa al livello di fiducia del 95%,
- *Q,* quantità in volume di gas erogato.

Per la verifica della CG è necessario assicurare una temperatura costante ed uniforme nell'ambiente di lavoro; tale condizione può ritenersi soddisfatta se non è maggiore di 0,5°C lo scarto mutuo fra:

- la temperatura interna alla CC (t_{cc})
- la temperatura dell'olio nella CG (t_{olio})
- la temperatura dell'ambiente (t_{amb}), misurata a 1,5 m di altezza al di sopra del pavimento

Inoltre, tra le tre temperature, quella dell'acqua nella CC deve essere sempre la più elevata. Nel seguito si riporta la sequenza delle operazioni eseguite per la caratterizzazione della CG:

- riempimento della CC con acqua distillata (climatizzata per almeno 48 ore continuative all'interno del laboratorio) fino al valore nominale di 50 L,
- rilevazione della temperatura interna alla CC ad inizio prova ($t_{cc,in}$),
- rilevazione della temperatura dell'olio nel tino della CG ($t_{olio,in}$) ad inizio prova,
- rilevazione della temperatura ambiente ($t_{amb,in}$) ad inizio prova,
- rilevazione pressione assoluta dell'aria nella CG ad inizio prova ($P_{aria,cg,in}$),
- rilevazione dell'umidità relativa dell'aria all'interno della CG (UR_{cg}),
- lettura della quota iniziale della CG ($h_{in,cg}$) dell'encoder;
- apertura/chiusura delle valvole della CC e della CG, in modo da consentire l'efflusso dell'aria dalla CG alla CC; durante questa fase, in virtù della sovrapressione all'interno della CC, l'aria proveniente dalla CG fa defluire

l'acqua della CC, finché non viene raggiunto l'equilibrio tra la sovrapressione dell'aria nella campana (rispetto all'ambiente) e pressione della colonna d'acqua residua, all'interno della sezione di misura della CC;
- riempimento della CC con acqua distillata per la verifica del tratto successivo della CC.

Nella Figura 4.11 si riporta lo schema della CG con l'indicazione di alcuni aspetti critici inseriti nella procedura di caratterizzazione.

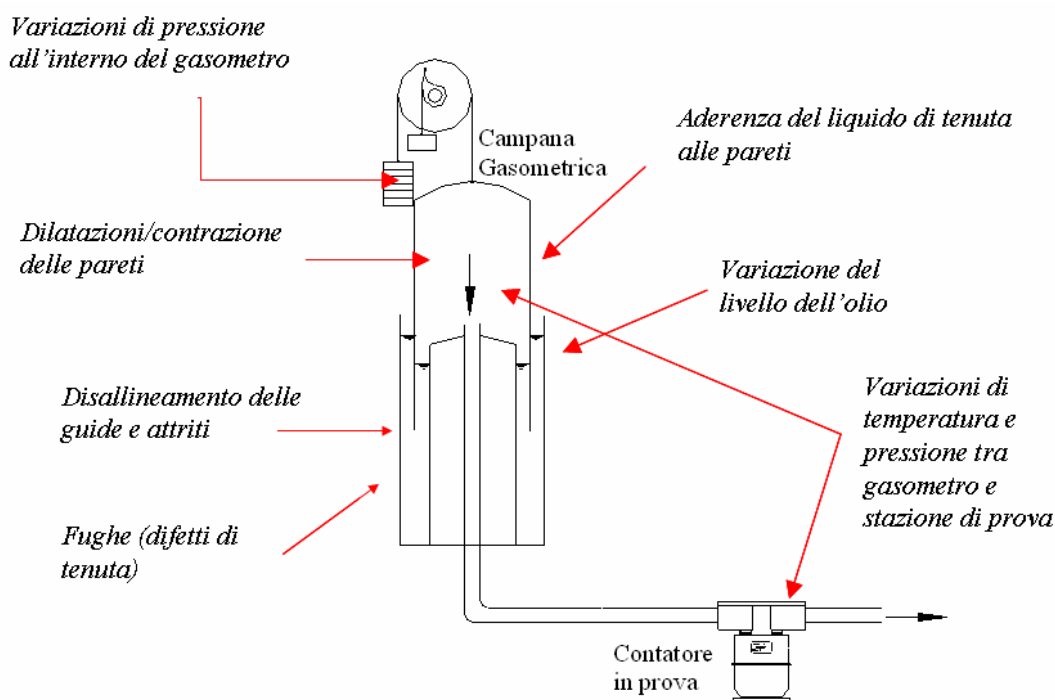



Figura 4.11. – Aspetti critici per la verifica di un contatore del gas

Non appena l'acqua finisce di defluire dalla CC, si procede con le seguenti misurazioni (Figura 4.12):

- rilevazione della temperatura interna alla CC a fine prova ($t_{cc,fin}$),
- rilevazione della temperatura dell'olio nel tino della CG ($t_{olio,fin}$) a fine erogazione,
- rilevazione della temperatura ambiente ($t_{amb,fin}$) a fine prova,

- rilevazione della pressione assoluta dell’aria all’interno della CG a fine prova ($P_{aria,cg,fin}$),
- rilevazione dell’umidità relativa dell’aria interna alla CG (UR_{cg}),
- rilevazione della quota finale della CG ($h_{fin,cg}$);

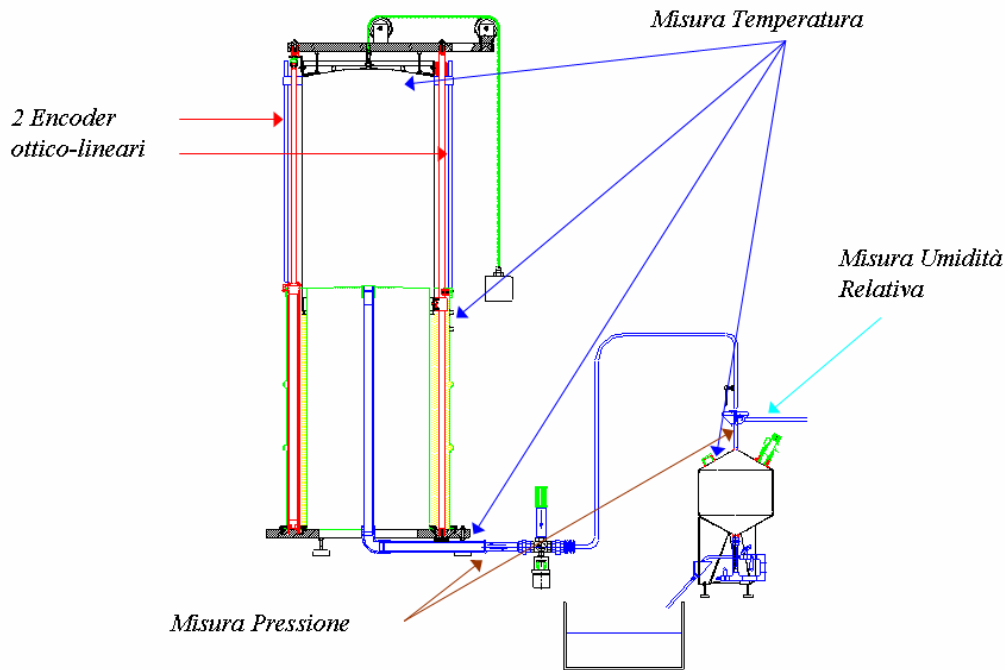



Figura 4.12. – Misure Sperimentali per la Caratterizzazione della Campana Gasometrica

Elaborazione dei Dati Sperimentali

Per il calcolo delle correzioni è stato applicato il principio di sovrapposizione degli effetti all’equazione di stato per l’aria umida. Un’ulteriore ipotesi effettuata è che sono nulle le fughe nel circuito durante l’attraversamento; con tale ipotesi è stato possibile, nel calcolo di alcuni termini correttivi, uguagliare perfettamente la massa d’aria trasferita dalla CC alla CG.

Si considerano i seguenti contributi:

- $E_{\Delta t}$ variazione temperatura aria tra CG e CC;
- $E_{\Delta P'}$ variazione pressione aria tra CG e CC;

- $E_{\Delta q'}$ differenza di quota tra pavimento e baricentro aria in CG;
- $E_{t,CG}$ variazione temperatura CG da 20°*C*;
- $E_{\Delta Z}$ variazione fattore di compressibilità *Z* tra CG e CC.
- $E_{V,olio}$ variazione del livello dell'olio nella CG
- $E_{\Delta\phi}$ variazione umidità relativa aria tra CG e CC;
- $E_{t,CC}$ variazione temperatura CC da 20°*C*;
- E_{sif} variazione del livello del sifone nella CC
- $E_{\Delta q''}$ differenza di quota tra pavimento e baricentro aria in CC

Stima delle Correzioni relative alla Campana Gasometrica (CG)

Variazione della temperatura dell'aria tra CG e CC($E_{\Delta t}$)

Nel passaggio dalla CG alla CC si determina una variazione della temperatura termodinamica dell'aria, a causa sia del gradiente di temperatura tra le pareti della CG e della CC, sia per il flusso in modo calore dovuto all'evaporazione dell'acqua nella CC. Indicando con V_{CG} il valore del volume nominale erogato dalla CG ($V_{CG} = \Delta h \cdot S_{CG,int}$) e con $V_{CG,\Delta T}$ il volume corretto della CG, l'errore $E_{\Delta t}$ della CG (variazione volumetrica subita dall'aria nel trasferimento) è indicato come $E_{\Delta t} = V_{CG} - V_{CG,\Delta t}$; in questa formula, applicando l'equazione di stato dei gas reali $V_{CG,\Delta t} \cdot t_{CG} = V_{CG} \cdot t_{CC}$ e indicando con $\Delta t = t_{CG} - t_{CC}$, con t_{CC} la temperatura termodinamica media dell'aria nella CC e con t_{CG} la temperatura media dell'aria nella CG, si può scrivere:

$$E_{\Delta t} = V_{CG} \cdot \left(1 - \frac{V_{CC}}{V_{CG}}\right) = V_{CG} \cdot \left(1 - \frac{t_{CC}}{t_{CG}}\right) = \frac{\Delta t \cdot V_{CG}}{t_{CG}}$$

Variazioni della pressione dell'aria tra CG e CC

L'aria nell'attraversamento del circuito che collega la CG con la CC subisce perdite di carico concentrate e distribuite; inoltre, nell'esecuzione della prova si registrano variazioni della pressione interna del sistema, tra istante iniziale e finale, a causa del non perfetto funzionamento dell'organo di compensazione, attriti irregolari, variazioni della sezione della campana lungo la sua altezza e per la variazione della

quantità d'olio presente sulle pareti della campana (lo sgocciolamento infatti prosegue nello svolgimento delle prove). Questi due fattori causano due differenti errori di cui il primo è calcolato con la relazione:

$$E_{\Delta P'} = V_{CG} - V_{CG,\Delta P'} = V_{CG} \cdot \left(1 - \frac{P_{CG}}{P_{CC}}\right) = \frac{V_{CG} \cdot \Delta P'}{P_{CC}}$$

dove $E_{\Delta P'}$ è l'errore dovuto alle perdite di carico (anche questo termine rappresenta una variazione volumetrica), $V_{CG,\Delta P'}$ è il volume erogato della CG e $\Delta P' = P_{CC} - P_{CG}$, con P_{CG}=pressione in uscita della CG e P_{CC}=pressione in ingresso della CC.

Per calcolare il secondo contributo è necessario considerare:

- $V_{sist,f}$, $V_{sist,i}$: volume d'aria complessivamente presente all'interno dell'impianto agli istanti finale ed iniziale della prova (volumi comprensivi di quello morto): questi volumi variano a seconda della porzione di scala che si sta caratterizzando;
- $P_{CG,fin}$, $P_{CG,in}$: pressione dell'aria interna CG a fine ed inizio prova;
- $P_{CC,fin}$, $P_{CC,in}$: pressione dell'aria interna CC a fine ed inizio prova.

Si determina quindi il volume nominale erogato dalla CG e quello corretto $V_{CG,\Delta P''}$ che raggiunge la CC, attraverso le seguenti elaborazioni:

$$V_{CG} = V_{SIST,i} - V_{SIST,f}$$

$$V_{CG,\Delta P''} = \frac{V_{SIST,i} \cdot P_{CG,i} - V_{SIST,f} \cdot P_{CG,f}}{P_{CC,f}}$$

$$E_{\Delta P''} = V_{CG} - V_{CG,\Delta P''} = V_{SIST,i} \cdot \left(1 - \frac{P_{CG,I}}{P_{CG,f}}\right) = \frac{V_{SIST,i} \cdot \Delta P''}{P_{CG,f}}$$

Infatti, nell'ipotesi di perdite di carico nulle (pressione costante in ogni punto del sistema, P funzione del tempo ma non dello spazio), vale $P_{CC,f} = P_{CG,f}$, e quindi $E_{\Delta P''}$ è pari alla differenza di V_{CG} e $V_{CG,\square P'}$. Il termine $\Delta P'' = P_{CG,f} - P_{CG,i}$. pressione interna del gasometro P_{CG}, è misurato da una sonda posizionata esternamente al gasometro nel tubo di adduzione/scarico anziché al suo interno: questo non determina correzioni errori, perché i valori sono rilevati ad inizio e fine prova, ossia in condizione statiche.

Differenza di quota tra pavimento e baricentro aria in CG

Indicando con $V_{CG,q}$ il volume erogato dalla CG attraverso una generica sezione al livello del pavimento, $P_{pavim.}$ la pressione dell'aria nella CG al livello del pavimento ($P_{pavim.} = P_{CG} - d' \cdot \Delta P_q$), *d'* la distanza in metri tra pavimento e il baricentro del volume erogato nella CG (variabile in funzione della porzione di scala in verifica) e ponendo $\Delta P_q = 11$ *Pa/m* variazione della pressione dell'aria in funzione della quota (al livello del mare), questo contributo diviene:

$$E_{\Delta q'} = V_{CG} - V_{CG,q} = V_{CG} \cdot \left(1 - \frac{P_{pavim.}}{P_{CG}}\right)$$

$$E_{\Delta q'} = V_{CG} \cdot \left(1 - \frac{P_{CG} - d' \cdot \Delta P_q}{P_{CG}}\right) = \frac{V_{CG} \cdot d' \cdot \Delta P_q}{P_{CG}}$$

Variazione temperatura CG da 20°C

Indicando con V_{CG} l'indicazione della scala alla temperatura generica, con $V_{CG,20}$ l'indicazione della scala a $t=20°C$, e con t_{SC} la temperatura della scala (in prima approssimazione $t_{SC}=t_{olio}$) si avrà $V_{CG,20} = V_{CG} \cdot \left(1 + \alpha_{SC} \cdot \Delta t_{SC}\right)$ avendo posto $\Delta T_{SC} = T_{SC} - 20°C$. Introducendo α_{CG}, coefficiente di dilatazione termica lineare della CG, $\Delta t_{CG}=t_{CG}-20°C$, la correzione per gli effetti della dilatazione termica della CG è:

$$E_{t,CG} = V_{CG,20} - V_{CG}\left(t_{CG}\right)$$

$$V_{CG}\left(t_{CG}\right) = V_{CG,20} \cdot \left(1 + \alpha_{CG} \cdot \Delta t_{CG}\right)^3$$

$$E_{t,CG} = V_{CG,20} \cdot \left(1 - \left(1 + \alpha_{CG} \cdot \Delta t_{CG}\right)^3\right) = V_{CG} \cdot \left(1 + \alpha_{SC} \cdot \Delta t_{SC}\right) \cdot \left(1 - \left(1 + \alpha_{CG} \cdot \Delta t_{CG}\right)^3\right)$$

Variazione del fattore di compressibilità Z tra CG e CC

Dati i differenti stati termodinamici dell'aria nella CG e nella CC, esiste una diversità anche nei fattori di compressibilità, l'errore $E_{\Delta Z}$ può essere calcolato nel modo seguente:

$$V_{CG,\Delta Z} = V_{CG} \cdot \frac{Z_{CC}}{Z_{CG}}$$

$$E_{\Delta Z} = V_{CG} - V_{CG,\Delta Z} = V_{CG} \cdot \left(1 - \frac{V_{CG,\Delta Z}}{V_{CG}}\right) = V_{CG} \cdot \left(1 - \frac{Z_{CC}}{Z_{CG}}\right) = \frac{\Delta Z \cdot V_{CG}}{Z_{CG}}$$

Avendo indicato con $V_{CG,\Delta Z}$ il valore del volume corretto che effettivamente raggiunge la CC, con $\Delta Z = Z_{CG} - Z_{CC}$, e con Z_{CG} e Z_{CC} fattori di compressibilità dell'aria nella CG e nella CC.

Variazione del livello dell'olio nella CG

L'innalzamento del livello dell'olio causa una riduzione del volume interno della CG e la erogazione di un volume maggiore di quello indicato dai dispositivi di lettura.
Il conseguente errore $E_{V,olio}$ è ricavabile come frazione del volume d'olio che complessivamente si innalza internamente alla CG dopo la sua completa immersione; da stime di progetto, $V_{olio,int.}$,$=0.54\ dm^3$, pertanto, considerando una erogazione di 50 *L* (1/12 della corsa totale):

$$E_{V,olio} = -0{,}045\ dm^3$$

Bisogna osservare però, che nel calcolo dell'innalzamento del livello dell'olio è stato considerato il solo effetto del volume della CG che si immerge, trascurando eventuali ulteriori contributi dovuti a supporti di trasduttori, scale graduate, o altri dispositivi che si immergono.

Stima del volume corretto erogato dalla campana gasometrica ($V_{CG,corr}$)

Alla luce di quanto sopra riportato il volume nominale effettivamente erogato dalla campana gasometrica (CC) è dato dalla relazione seguente:

$$V_{CG,corr} = V_{CG} - E_{Dt} - E_{DP'} - E_{DP''} - E_{Dq'} - E_{t,CG} - E_{\Delta Z}$$

$$V = \Delta h \cdot S_{CG,\mathrm{int}}$$

con Δh spostamento della CG rilevato dall'encoder (o dall'asta graduata) e $S_{cg,int}$ superficie interna della sezione retta della CG.

Stima delle Correzioni relative alla Clèssidra Campione (CC)

Variazione umidità relativa aria tra CG e CC

Nel passaggio da CG a CC si determina una variazione del numero di moli di aria dovuto all'innalzamento di UR(ϕ) conseguente al contatto durante lo svuotamento tra l'aria nella CG e l'acqua distillata nella CC. Pertanto, nella CC aumenta la frazione volumetrica occupata dal vapore acqueo e ciò si traduce in una corrispondente diminuzione della capacità interna della CC, ovvero del volume effettivamente occupabile dall'aria in uscita dalla CG.

Indicando ancora una volta con V_{CC} il volume nominale della CC e con $V_{CC,\Delta\phi}$ quello invece effettivamente disponibile cioè quello corretto per l'effetto dell'aumento della frazione volumetrica del vapore, l'errore sul valore misurato dalla CC può essere indicato come $E_{\Delta\phi} = V_{CC} - V_{CL,\Delta\phi}$; nella differenza a destra dell'equazione il secondo termine scritto sarà sempre minore del primo e, inoltre, il loro rapporto può essere considerato pari a quello tra le pressioni totali dell'aria in CG e CC (il processo di umidificazione che avviene in CC causa un aumento della pressione parziale del vapore e di quella totale, essendo quella parziale dell'aria costante). Indicando con P_{aria} la pressione parziale dell'aria, con $P_{v,cg}$ e $P_{v,cl}$ i valori della pressione parziale del vapore nella CG e nella CC, si può porre:

$$V_{CC,\Delta\phi} = V_{CC} \cdot \frac{P_{aria} + P_{v,CG}}{P_{aria} + P_{v,CC}}$$

$$E_{\Delta\phi} = V_{CC} \cdot \left(1 - \frac{P_{aria} + P_{v,CG}}{P_{aria} + P_{v,CC}}\right) = \frac{\Delta P_v \cdot V_{CC}}{P_{CC}}$$

Con ΔP_v, differenza tra le pressioni parziali del vapore valutate all'uscita della CC e all'interno della CG e P_{CC} pressione totale nella CC (misurata all'ingresso).

I Valori nell'equazione precedente si ricavano attraverso le misure di temperatura ed umidità relativa in CG e in CC:

$$\Delta P_v = P_{v,CC} - P_{v,CG} \cong \phi_{CC} \cdot P_{sv}(t_{CC}) - \phi_{CG} \cdot P_{sv}(t_{CG}) = \phi_{CC} \cdot e^{\left(A \cdot t_{CC}^2 + B \cdot t_{CC} + C + \frac{D}{t_{CC}}\right)} - \phi_{CG} \cdot e^{\left(A \cdot t_{CG}^2 + B \cdot t_{CG} + C + \frac{D}{t_{CG}}\right)}$$

in cui, ϕ_{CG} e ϕ_{CC} sono l'umidità relativa all'interno della CG e all'uscita della CC, $P_{sv}(t_{CG})$ e $P_{sv}(t_{CC})$ sono le pressioni di saturazione del vapore alla temperatura dell'aria nei medesimi punti, e *A, B, C* e *D* sono dei coefficienti per la determinazione della massa volumica dell'aria umida [31, 32].

Variazione temperatura CC da 20°C

Indicando con V_{CC} il volume effettivo della CC a 20°*C* (si ricava dal certificato di taratura), con $V_{CC}(t_{CC})$ il volume reale della CC alla temperatura t_{CC}., con α_{CC} il coefficiente di dilatazione lineare della CC (dal certificato di taratura) e $\Delta t_{CC}=t_{CC}-20$°C, l'errore $E_{t,CC}$ è determinato nel modo seguente:

$$E_{t,CC} = V_{CC} - V_{CC}\left(t_{CC}\right)$$

$$V_{CC}\left(t_{CC}\right) = V_{CC} \cdot \left(1 + \alpha_{CC} \cdot \Delta t_{CC}\right)^3$$

$$E_{t,CC} = V_{CC} - V_{CC}\left(t_{CC}\right) = V_{CC} \cdot \left(1 - \left(1 + \alpha_{CC} \cdot \Delta t_{CC}\right)^3\right)$$

Variazione del livello del sifone nella CC

Indicando con S_{sif} l'area della sezione interna del tratto trasparente del sifone, ρ la densità dell'acqua, g l'accelerazione di gravità e $\Delta P_{CC}=P_{CC,f}-P_{CC,i}$, questo contributo è stimato mediante l'equazione:

$$E_{sif} = \frac{S_{sif} \cdot (P_{CC,i} - P_{CC,f})}{\rho \cdot g} = \frac{S_{sif} \cdot \Delta P_{CC}}{\rho \cdot g}$$

Differenza di quota tra pavimento e baricentro aria nella CC

Indicando con $V_{CC,q}$ il valore del volume della CC riferito alla quota del pavimento, $P_{pavim.}$ la pressione dell'aria calcolata ad un livello pari a quello del pavimento, *d''* la distanza in metri tra il centro della sezione del condotto d'adduzione posto al livello più basso (del pavimento) e il baricentro della CC, si può scrivere:

$$P_{pavim.} = P_{CC} - d'' \cdot \Delta P_q$$

$$E_{\Delta q''} = V_{CC} - V_{CC,q} = V_{CC} \cdot \left(1 - \frac{P_{pavim.}}{P_{CC}}\right)$$

$$E_{\Delta q''} = V_{CC} \cdot \left(1 - \frac{P_{CC} - d'' \cdot \Delta P_q}{P_{CC}}\right) = \frac{V_{CC} \cdot d'' \cdot \Delta P_q}{P_{CC}}$$

Stima del Volume Corretto nella Clèssidra Campione (VCC,corr.)

Alla luce di quanto sopra riportato il volume nominale effettivamente erogato dalla clèssidra campione (CC) è dato dalla relazione seguente:

$$V_{CC,corr} = V_{CC} - E_{\Delta\phi} - E_{\Delta q'} - E_{Tcl} - E_{sif}$$

Stima dell'errore complessivo della Campana Gasometrica (ECG)

L'errore complessivo della CG può quindi essere determinato mediante la formula:

$$E_{CG} = X_m - X_{rv} = V_{CG,corr.} - V_{CC,corr.}$$

Esplicitando tutti i contributi come sopra esposto l'equazione precedente diventa:

$$E_{CG} = \Delta h \cdot S_{cg,\text{int}} - \frac{\Delta T \cdot V_{CG}}{T_{CG}} - \frac{\Delta P' \cdot V_{CG}}{P_{CC}} - \frac{V_{SIST,I} \cdot \Delta P''}{P_{CG,F}} - \frac{\Delta P_q \cdot d' \cdot V_{CG}}{P_{CG}} - \frac{\Delta Z \cdot V_{CG}}{Z_{CG}} +$$

$$-\alpha_{CG}^3 \cdot V_{CG} \cdot \left(1 + \alpha_{SC} \cdot \Delta T_{SC}\right) \cdot \left(1 - \left(1 + \alpha_{CG} \cdot \Delta T_{CG}\right)^2\right) - V_{CC} + V_{CC}\left(1 - \left(1 + \alpha_{CC} \cdot \Delta T_{CC}\right)^3\right) +$$

$$+ \frac{S_{sif} \cdot \Delta P_{CC}}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta P_v \cdot V_{CC}}{P_{CC}} + \frac{V_{CL} \cdot d'' \cdot \Delta P_q}{P_{CC}}$$

Stima del Volume Morto della Campana Gasometrica

Il volume morto, V_M, rappresenta il volume complessivamente racchiuso all'interno del circuito di prova che collega la CG alla CC. Esso può essere stimato a partire dal progetto della CG, o, in alternativa, mediante la procedura di seguito descritta:

- posizionamento sulla CG di una (piccola) massa aggiuntiva di valore tale da non causare traboccamento dell'olio ma allo stesso tempo sufficiente a determinare una variazione di volume sensibile;

- spillamento dell'aria dalla CG fino alla posizione *tutta immersa*
- misura di $P^{'}_{down,CG}$ e $V^{'}_{down,CG}$
- rimozione della massa aggiuntiva dalla CG e misura di $P^{''}_{down,CG}$ e $V^{''}_{down,CG}$
- calcolo del volume indotto $\Delta V_{down} = V^{''}_{down,CG} - V^{'}_{down,CG}$
- riempimento di aria nella CG fino alla posizione *tutta emersa*
- misura di $P^{''}_{up,CG}$ e $V^{''}_{up,CG}$
- riposizionamento della massa aggiuntiva e misura di $P^{'}_{up,CG}$ e $V^{'}_{up,CG}$
- calcolo del volume indotto $\Delta V_{up} = V^{''}_{up,CG} - V^{'}_{up,CG}$
- nell'ipotesi di pressione atmosferica circa costante (misure in istanti ravvicinati) e di costante aumento della pressione in CG dovuto alla massa aggiuntiva, V_M è fornito dalla relazione approssimata:

$$V_M \cong \frac{\Delta V_{down} \cdot V_{CG,\max}}{\Delta V_{up} - \Delta V_{down}}$$

Risultati delle Misure

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle elaborazioni effettuate a valle della campagna di misure sperimentali effettuata.

Le operazioni di caratterizzazione dell'impianto sono avvenute in ambiente controllato con le impostazioni nominali di T_{amb}=(22±1) °C e UR_{amb}=(55±5) %.

Nella foto che segue si riporta un'immagine complessiva dell'impianto, e della CC strumentata durante le misure sperimentali (Figura 4.13).

Figura 4.13. – Vista dell’impianto per la verifica dei Contatori del Gas e Clèssidra Campione strumentata per le prove

Nella tabella che segue si riportano i dati salienti relativi al gasometro a campana oggetto della verifica metrologica:

Denominazione:	Gasometro a Campana
Costruttore:	Sacofgas 1927 Spa
Modello:	Kromshroder
Materiale:	Acciaio AISI 304
Capacità massima:	550 Litri
Volume Morto:	53,25 Litri
Risoluzione:	0,1 Litri

Tabella 4.6. - Dati caratteristici della Campana Gasometrica oggetto della sperimentazione

Come detto, il Volume Morto rappresenta il volume racchiuso all’interno del circuito di prova che collega la CG alla CC. Il valore riportato è ottenuto dagli elaborati progettuali ed è stato comunicato dal costruttore.

L'andamento della T_{amb} e di UR_{amb} durante i due giorni di misure è mostrato nel grafico che segue (Figura 4.14):

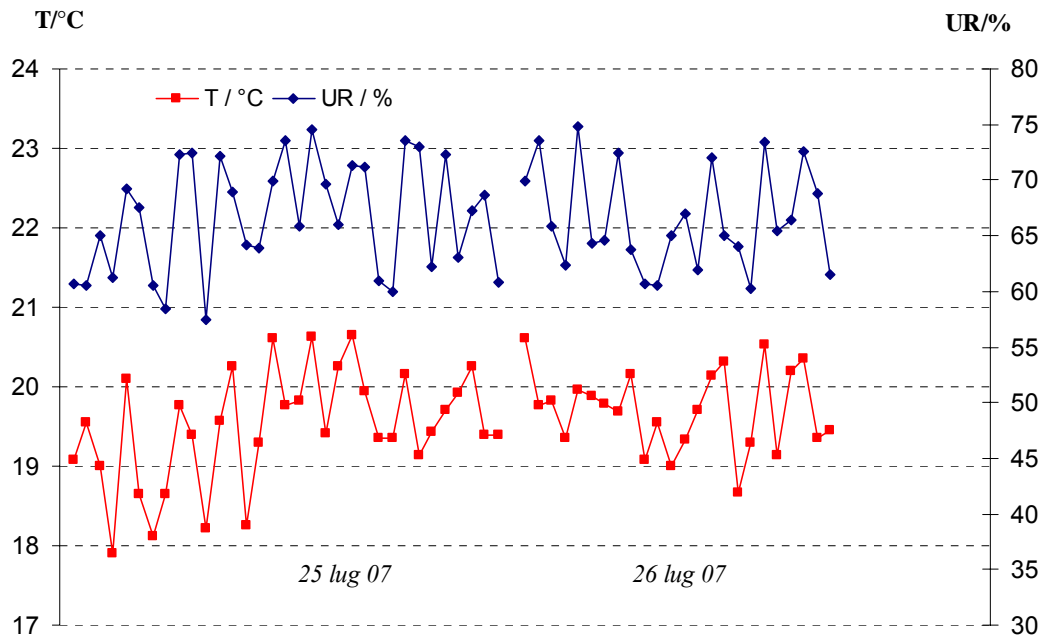



Figura 4.14. – Andamento della della T_{amb} e di UR_{amb} durante la campagna di misure

Si può notare che le misure di T_{amb} e di UR_{amb} hanno mostrato valori fuori controllo e lontani da quelli di riferimento descritti nelle normative.

Nella tabella che segue si riportano in forma schematica le misure sperimentali, le elaborazioni effettuate ed i risultati finali.

Dati di prova

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			0-50	*50-100*	*100-150*	*150-200*	*200-250*	*250-300*	*300-350*	*350-400*	*400-450*	*450-500*	*500-550*
Temperatura media dell'aria all'interno della campana	$t_{aria,cg}$	°C	19,50	19,50	19,50	19,43	19,43	20,07	20,10	20,10	20,10	20,07	20,07
Temperatura media dell'aria all'interno della clessidra	$t_{aria,cl} = t_{aria,cg}$	°C	19,50	19,50	19,50	19,43	19,43	20,07	20,10	20,10	20,10	20,07	20,07
Temperatura media delle pareti della campana	$t_{olio} = t_{cg}$	°C	19,66	19,66	19,65	19,64	19,64	20,02	19,67	19,71	19,74	19,77	19,78
Temperatura media delle pareti della clessidra	$t_{acqua} = t_{cl}$	°C	19,70	19,60	19,60	19,60	19,60	20,15	20,40	20,40	20,40	20,40	20,30
Temperatura della scala	$t_{sc} = t_{olio}$	°C	19,66	19,66	19,65	19,64	19,64	20,02	19,67	19,71	19,74	19,77	19,78
Pressione media dell'aria all'interno della campana	$P_{aria,cg,m}$	Pa	101620	101610	101615	101600	101570	101790	101590	101615	101650	101680	101735
Pressione iniziale dell'aria all'interno della campana	$P_{aria,cg,in}$	Pa	101620	101610	101620	101600	101590	101790	101590	101610	101650	101670	101720
Pressione finale dell'aria all'interno della campana	$P_{aria,cg,fin}$	Pa	101620	101610	101610	101600	101550	101790	101590	101620	101650	101690	101750
Pressione media dell'aria all'interno della clessidra	$P_{aria,cl,m}$	Pa	101589	101590	101576	101567	101534	101758,5	101543	101591	101613	101647,5	101685
Pressione iniziale dell'aria all'interno della clessidra	$P_{aria,cl,in} = P_{atm} + \Delta P$	Pa	101588	101593	101583	101569	101546	101762	101536	101578	101612	101640	101672
Pressione finale dell'aria all'interno della clessidra	$P_{aria,cl,fin} = P_{atm} + \Delta P$	Pa	101590	101587	101569	101565	101522	101755	101550	101604	101614	101655	101698
Umidità relativa dell'aria all'interno della campana	UR_{CG}	%	66,6	66,6	66,6	66,6	66,6	66,6	66,6	66,6	66,6	66,6	66,6
Umidità relativa dell'aria all'interno della clessidra	UR_{CL}	%	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Spostamento della campana mobile	Δh	dm	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98
Posizione assoluta iniziale della campana mobile	$h_{in,cg}$	dm	0,12	1,10	2,09	3,07	4,05	5,02	6,00	6,97	7,95	8,93	9,91
Posizione assoluta finale della campana mobile	$h_{fin,cg}$	dm	1,10	2,08	3,07	4,05	5,02	6,00	6,97	7,95	8,93	9,91	10,89
Baricentro volume di prova all'interno CG dal pavimento	$h_{medio,cg}$	m	0,06	0,16	0,26	0,36	0,45	0,55	0,65	0,75	0,84	0,94	1,04
Baricentro volume di prova all'interno CC dal pavimento	$h_{medio,cl}$	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

Correzioni

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			0-50	*50-100*	*100-150*	*150-200*	*200-250*	*250-300*	*300-350*	*350-400*	*400-450*	*450-500*	*500-550*
Errore variazione di temperatura dell'aria tra la CG e la CC	$E_{\Delta T}$	dm^3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Errore variazione di pressione dell'aria tra la CG e la CC	$E_{\Delta P'}$	dm^3	-0,0152	-0,0098	-0,0191	-0,0161	-0,0175	-0,0153	-0,0229	-0,0117	-0,0180	-0,0159	-0,0244
Errore variazione di pressione in CG iniziale e finale	$E_{\Delta P''}$	dm^3	0,0000	0,0000	-0,0163	0,0000	-0,1041	0,0000	0,0000	0,0406	0,0000	0,1007	0,1656
Errore differenza di quota dell'aria nella CG e il pavimento	$E_{\Delta q'}$	dm^3	-0,0029	-0,0024	-0,0018	-0,0013	-0,0008	-0,0003	0,0003	0,0008	0,0013	0,0018	0,0024
Errore variazione di temperatura pareti della CG dai 20°C	E_{Tcg}	dm^3	8,14E-04	8,13E-04	8,35E-04	8,49E-04	8,52E-04	-4,76E-05	7,75E-04	6,90E-04	6,08E-04	5,56E-04	5,16E-04
Errore variazione fattore compressibilità Z tra la CG e la CC	$E_{\Delta Z}$	dm^3	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
Errore variazione umidità relativa dell'aria tra la CG e la CC	$E_{\Delta Ur}$	dm^3	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339
Errore differenza di quota aria nella CC e il pavimento	$E_{\Delta q''}$	dm^3	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Errore variazione di temperatura pareti della CC dai 20°C	E_{Tcl}	dm^3	0,0007	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	-0,0004	-0,0010	-0,0010	-0,0010	-0,0010	-0,0007
Errore variazione di pressione in CC iniziale e finale	$E_{Sif.}$	dm^3	-0,001	0,002	0,005	0,001	0,009	0,003	-0,005	-0,010	-0,001	-0,006	-0,010

Risultati

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			0-50	*50-100*	*100-150*	*150-200*	*200-250*	*250-300*	*300-350*	*350-400*	*400-450*	*450-500*	*500-550*
Volume erogato dal gasometro corretto	$V_{cg,cor.}$	dm^3	49,9192	49,8068	49,7174	49,5882	49,4070	49,5762	49,4735	49,5225	49,3542	49,5386	49,4432
Volume raccolto nella clessidra corretto	$V_{cl,cor.}$	dm^3	49,6563	49,6531	49,6501	49,6537	49,6462	49,6546	49,6623	49,6669	49,6580	49,6630	49,6669
Errore complessivo commesso dal gasometro	E_{cg}	dm^3	0,263	0,154	0,067	-0,066	-0,239	-0,078	-0,189	-0,144	-0,304	-0,124	-0,224
errore %		%	0,53%	0,31%	0,14%	-0,13%	-0,48%	-0,16%	-0,38%	-0,29%	-0,61%	-0,25%	-0,45%
errore max tollerato dalla UNI CIG 7988		%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%
Incertezza k=2	U_{cg}	dm^3	0,142	0,141	0,141	0,141	0,140	0,141	0,140	0,141	0,140	0,141	0,140
Incertezza k=2 %V.L.		%	0,28%	0,28%	0,28%	0,28%	0,28%	0,28%	0,28%	0,28%	0,28%	0,28%	0,28%

Tabella 4.7. - Dati di Prova, Correzioni e Risultati finali della sperimentazione

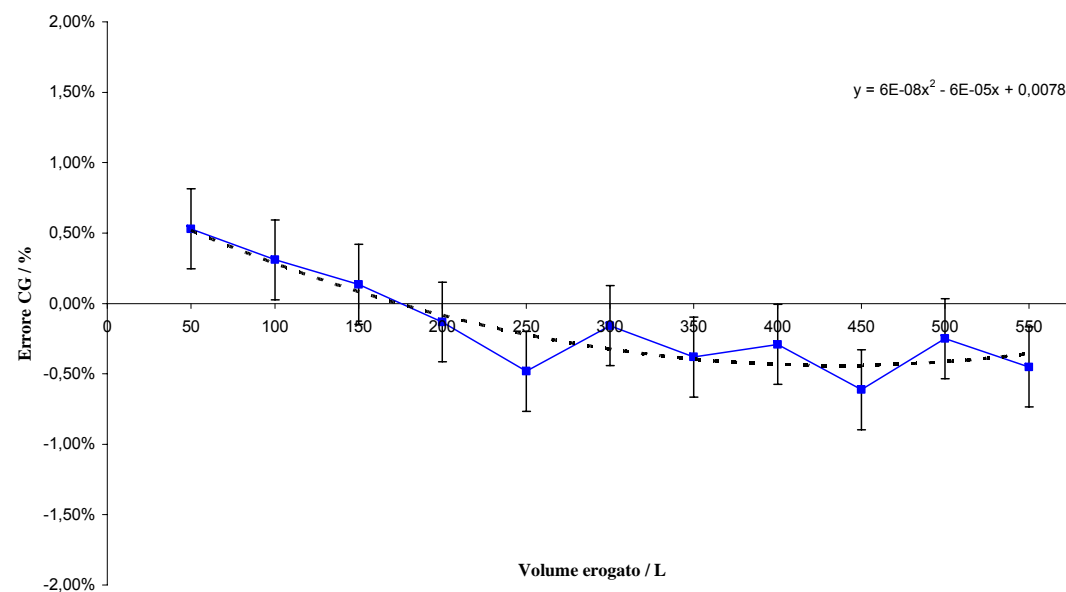
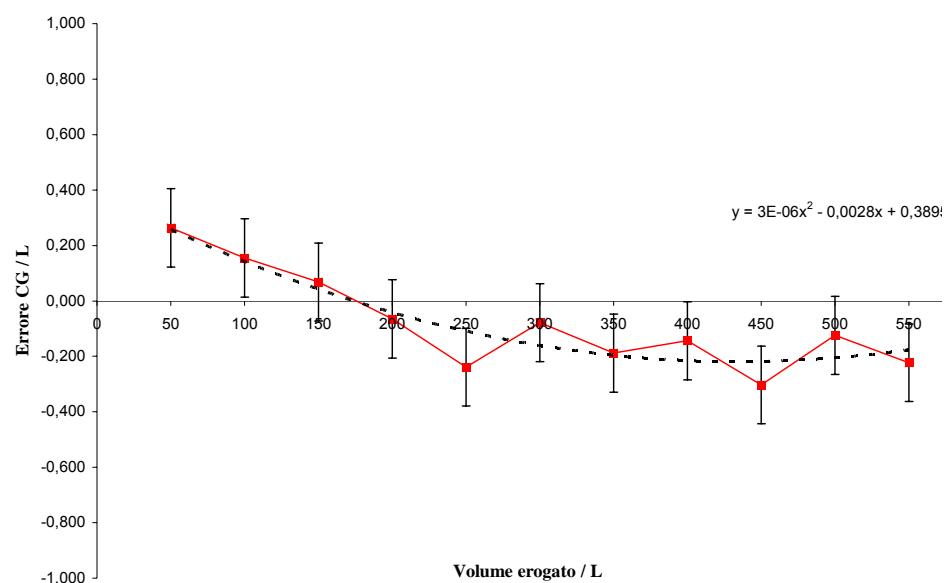



Figura 4.15. – Curve di Errore Assoluto e Percentuale della Campana Gasometrica

Nelle *curva di errore assoluto della campana gasometrica* si riporta tratteggiata anche la curva interpolante di grado 2 che meglio approssima la curva di errore reale e la cui equazione è data da $y = 3 \cdot 10^{-6} x^2 - 0,0028 \cdot x + 0,3895$

Nelle *curva di errore percentuale della campana gasometrica* si riporta tratteggiata anche la curva interpolante di grado 2 che meglio approssima la curva di errore percentuale reale e la cui equazione è data da $y = 6 \cdot 10^{-8} x^2 - 6 \cdot 10^{-5} x + 0,0078$

Stima delle Incertezze

Nel presente paragrafo viene descritto il procedimento adottato per la stima delle incertezze delle misure oggetto della campagna sperimentale.

L'incertezza è determinata in riferimento al documento EA-4/02 [33] e UNI CEI ENV 13005 [34], secondo lo schema rappresentato nella tabella seguente:

Misurando			$y=f(x_1,x_2,\ldots,x_n)$
Incertezza tipo della misura	$u(x_i)$	Incertezza tipo associata alla grandezza d'ingresso *xi*	
	c_i	Coefficiente di sensibilità	$C_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$
	$u_i(y)$	Contributo all'incertezza tipo (composta) associata al risultato, dovuta all'incertezza tipo $u(xi)$della grandezza d'ingresso *xi*	$u_j(y) = c_j\, u(x_j)$
	$u(y)$	Incertezza tipo (composta) associata al risultato della misura	$u^2(y)\sum_{i=1}^{N} u_i^2(y)$
Incertezza estesa di misura	$U(y)$ k	Incertezza estesa di misura Fattore di copertura	U(y) = k u(y) =2

Tabella 4.8. – Stima dell'incertezza

Nell'analisi del bilancio di incertezza del misurando si assume che non esista correlazione tra le grandezze d'ingresso. L'incertezza estesa della misura U(y) = k u(y) è stimata con un fattore di copertura k=2, corrispondente ad un intervallo di confidenza di circa il 95 %. I contributi di incertezza stimati sono i seguenti:

- $u_{E\Delta t}$ variazione temperatura aria tra CG e CC;
- $u_{E\Delta P'}$ variazione pressione aria tra CG e CC;
- $u_{E\Delta P''}$ variazione pressione aria CG tra istante iniziale e finale;
- $u_{E\Delta P,CC}$ variazione pressione aria CC tra istante iniziale e finale della prova;
- $u\Delta_{Pv}$ differenza pressione parziale di vapore aria tra CG e CC
- $u_{E\Delta q'}$ differenza di quota tra pavimento e baricentro aria in CG;
- $u_{E\Delta q''}$ differenza di quota tra pavimento e baricentro aria in CC
- $u_{Et,CG}$ variazione temperatura CG da 20°*C*;
- $u_{Et,CC}$ variazione temperatura CC da 20°*C*;
- $u_{E,\Delta Z}$ variazione fattore di compressibilità *Z* tra CG e CC.
- $u_{V,CG}$ lettura del volume erogato dalla CG
- $u_{V,CC}$ volume di riferimento della CC

Nel seguito si riporta un approfondimento in merito alla stima dei sopraindicati contributi.

Variazione temperatura aria tra CG e CC

Partendo dalla relazione che descrive l'errore per la variazione di temperatura dell'aria tra CG e CC, applicando la legge di propagazione e considerando che $t_{CC}/t_{CG} \cong 1$, si ottiene:

$$E_{\Delta t} = V_{CG} \cdot \left(\frac{t_{CG} - t_{CC}}{t_{CC}} \right)$$

$$u_{E,\Delta t} = \sqrt{\left(\frac{\partial E_{\Delta t}}{\partial t_{CG}} \right)^2 \cdot u_{t,CG}^2 + \left(\frac{\partial E_{\Delta t}}{\partial t_{CC}} \right)^2 \cdot u_{t,CC}^2}$$

$$u_{E,\Delta t} = V_{CG} \cdot \sqrt{\left(-\frac{u_{t,CC}}{t_{CG}} \right)^2 + \left(\frac{u_{t,CC} \cdot t_{CC}}{t_{CG}^2} \right)^2}$$

$$u_{E,\Delta t} = \frac{V_{CG}}{t_{CG}} \cdot \sqrt{u_{t,CC}^2 + u_{t,CG}^2}$$

Variazione pressione aria tra CG e CC

Partendo dalla relazione che descrive l'errore per la variazione di pressione dell'aria tra CG e CC, applicando la legge di propagazione e considerando che $P_{CC}/P_{CG} \cong 1$, si ottiene:

$$E_{\Delta P'} = V_{CG} \cdot \left(\frac{P_{CC} - P_{CG}}{P_{CC}} \right)$$

$$u_{E,\Delta P'} = \sqrt{\left(\frac{\partial E_{\Delta P'}}{\partial P_{CG}} \right)^2 \cdot u_{P,CG}^2 + \left(\frac{\partial E_{\Delta P'}}{\partial P_{CC}} \right)^2 \cdot u_{P,CC}^2}$$

$$u_{E,\Delta P'} = V_{CG} \cdot \sqrt{\left(-\frac{u_{P,CG}}{P_{CC}} \right)^2 + \left(\frac{u_{P,CC} \cdot P_{CG}}{P_{CC}^2} \right)^2}$$

$$u_{E,\Delta P'} = \frac{V_{CG}}{P_{CC}} \cdot \sqrt{u_{P,CC}^2 + u_{P,CG}^2}$$

Variazione pressione aria CG tra istante iniziale e finale della prova

Partendo dalla relazione che descrive l'errore per la variazione di pressione dell'aria in CG tra inizio e fine prova, applicando la legge di propagazione e considerando che $P_{CG,i}/P_{CG,f} \cong 1$ e che $u_{P,CG,i} = u_{P,CG,f} = u_P$ (misure effettuate con stesso sensore), si ottiene:

$$u_{E,\Delta P''} = \sqrt{\left(\frac{\partial E_{\Delta P''}}{\partial P_{CG,i}} \right)^2 \cdot u_{P,CG,i}^2 + \left(\frac{\partial E_{\Delta P''}}{\partial P_{CG,f}} \right)^2 \cdot u_{P,CG,f}^2}$$

$$u_{E,\Delta P''} = V_{SIST,i} \cdot \sqrt{\left(-\frac{u_{P,CG,i}}{P_{CG,f}} \right)^2 + \left(\frac{u_{P,CG,f} \cdot P_{CG,i}}{P_{CG,f}^2} \right)^2}$$

$$u_{E,\Delta P''} = \frac{V_{SIST,I}}{P_{CG,f}} \cdot \sqrt{u_{P,CG,f}^2 + u_{P,CG,i}^2}$$

$$u_{E,\Delta P''} = \frac{V_{SIST,i}}{P_{CG,f}} \cdot \sqrt{2} \cdot u_P$$

Differenza di pressione nella clessidra tra istante iniziale e finale della prova

Si considera:

$$u_{\Delta P,CC} = u_{sif} = \frac{S_{\text{int}.sif.} \cdot \sqrt{u_{P,CC,f}^2 + u_{P,CC,i}^2}}{\rho \cdot g}$$

$$u_{\Delta P,CC} = u_{sif} = \frac{S_{\text{int}.sif.} \cdot \sqrt{2} \cdot u_{P,CC}}{\rho \cdot g}$$

dove con $u_{P,CC,i}$ e $u_{P,CC,f}$ si indicano le incertezze associate alla misura di pressione nella CC (si usa lo stesso sensore, per cui $u_{P,CC,i} = u_{P,CC,f} = u_{P,CC}$.

Differenza pressione parziale di vapore aria tra CG e CC

Questo contributo è associato alla misura di ΔP_v, errore della CC dovuto all'umidificazione dell'aria; si può scrivere:

$$u_{E,\Delta V\phi} = \sqrt{\left(\frac{\partial E_{\Delta\phi}}{\partial Pv_{CG}}\right)^2 \cdot u_{Pv,CG}^2 + \left(\frac{\partial E_{\Delta\phi}}{\partial Pv_{CC}}\right)^2 \cdot u_{Pv,CC}^2} = \left(\frac{\partial E_{\Delta\phi}}{\partial \Delta Pv}\right) \cdot u_{\Delta Pv} = \frac{V_{CC}}{P_{CC}} \cdot u_{\Delta Pv}$$

$$u_{\Delta Pv} = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial \Delta P_v}{\partial \phi_{CG}}\right) \cdot u_{\phi,CG}\right]^2 + \left[\left(\frac{\partial \Delta P_v}{\partial t_{CG}}\right) \cdot u_{t,CG}\right]^2 + \left[\left(\frac{\partial \Delta P_v}{\partial \phi_{CC}}\right) \cdot u_{\phi,CC}\right]^2 + \left[\left(\frac{\partial \Delta P_v}{\partial t_{CC}}\right) \cdot u_{t,CC}\right]^2}$$

$$\frac{\partial \Delta P_v}{\partial \phi_{CG}} = \left.\frac{\partial P_v}{\partial \phi}\right|_{CG} \cong -\frac{\partial \Delta P_v}{\partial \phi_{CC}} = \left.\frac{\partial P_v}{\partial \phi}\right|_{CC} \cong \left.\frac{\partial P_v}{\partial \phi}\right|_{m}$$

$$\frac{\partial \Delta P_v}{\partial t_{CG}} = \left.\frac{\partial P_v}{\partial t}\right|_{CG} \cong -\frac{\partial \Delta P_v}{\partial t_{CC}} = \left.\frac{\partial P_v}{\partial t}\right|_{CL} \cong \left.\frac{\partial P_v}{\partial t}\right|_{m}$$

Avendo considerato le rispettive variazioni rispetto a ϕ e t, e dove con m si sono indicate le condizioni di temperatura e umidità relativa medie assunte dall'aria nella CG e nella CC.

Quindi, indicando con $u_{\Delta\phi}$ e $u_{\Delta T}$ le incertezze associate alle misure delle differenze di umidità relativa e di temperatura:

$$u_{\Delta Pv} = \sqrt{\left(\left.\frac{\partial P_v}{\partial \phi}\right|_m\right)^2 \cdot \left(u_{\phi,CG}^2 + u_{\phi,CC}^2\right) + \left(\left.\frac{\partial P_v}{\partial t}\right|_m\right)^2 \cdot \left(u_{t,CG}^2 + u_{t,CC}^2\right)} = \sqrt{\left[\left(\left.\frac{\partial P_v}{\partial \phi}\right|_m\right)\cdot u_{\Delta\phi}\right]^2 + \left[\left(\left.\frac{\partial P_v}{\partial t}\right|_m\right)\cdot u_{\Delta t}\right]^2}$$

$$u_{\Delta\phi} = \sqrt{\left(\frac{U_{\phi,CG}^k}{k}\right)^2 + \left(\frac{U_{\phi,CC}^k}{k}\right)^2}$$

$$\left.\frac{\partial P_v}{\partial \phi}\right|_m = e^{\left(A\cdot tm^2 + B\cdot tm + C + \frac{D}{tm}\right)}$$

$$\left.\frac{\partial P_v}{\partial t}\right|_m = \phi_m \cdot e^{\left(A\cdot t_m^2 + B\cdot t_m + C + \frac{D}{t_m}\right)} \cdot \left(2A\cdot t_m + B - \frac{D}{t_m^2}\right)$$

$$u_{\Delta Pv} = \sqrt{\left[\left(\left.\frac{\partial P_v}{\partial \phi}\right|_{CG}\right)\cdot u_{\phi,CG}\right]^2 + \left[\left(\left.\frac{\partial P_v}{\partial T}\right|_{CG}\right)\cdot u_{T,CG}\right]^2 + \left[\left(\left.\frac{\partial P_v}{\partial \phi}\right|_{CC}\right)\cdot u_{\phi,CC}\right]^2 + \left[\left(\left.\frac{\partial P_v}{\partial T}\right|_{CC}\right)\cdot u_{T,CC}\right]^2}$$

Differenza di quota tra pavimento e baricentro aria in CG;

Questo contributo è calcolato nel modo seguente:

$$u_{E\Delta q'} = \left(\frac{\partial E_{\Delta q'}}{\partial d'}\right)\cdot u_{d'} = \frac{V_{CG}\cdot \Delta P_q}{P_{CG}}\cdot u_{d'}$$

Differenza di quota tra pavimento e baricentro aria in CC

Questo contributo è calcolato nel modo seguente:

$$u_{E\Delta q''} = \left(\frac{\partial E_{\Delta q''}}{\partial d''}\right)\cdot u_{d''} = \frac{V_{CG}\cdot \Delta P_q}{P_{CG}}\cdot u_{d''}$$

Variazione temperatura CG da 20°C

Questo contributo è calcolato nel modo seguente:

$$u_{Et,CG} = \left|\frac{\partial Et_{CG}}{\partial t_{CG}}\right| \cdot u_{Tcg} = \left|-2\alpha_{CG}\cdot V_{CG}\cdot\left(1+\alpha_{SC}\cdot\Delta t_{SC}\right)\cdot\left(1+\alpha_{CG}\cdot\Delta t_{CG}\right)\right|\cdot u_{t,CG}$$

dove con $u_{t,CG}$ si è indicata l'incertezza della misura della temperatura delle pareti della campana (assunta coincidente con quella dell'olio di tenuta).

Variazione temperatura CC da 20°C

Questo contributo è calcolato nel modo seguente:

$$u_{Et,CC} = \left|\frac{\partial E_{t,CC}}{\partial t_{CC}}\right| \cdot u_{t,CC} = \left|-3\alpha_{CC} \cdot V_{CC} \cdot \left(1 + \alpha_{CC} \cdot \Delta t_{CC}\right)^2\right| \cdot u_{t,CC}$$

dove con $u_{t,CC}$ si è indicata l'incertezza della misura della temperatura delle pareti della clessidra (assunta coincidente con quella dell'acqua).

Variazione fattore di compressibilità Z tra CG e CC

Z è funzione di P,t e x_v, tramite la relazione:

$$Z = 1 - \frac{P}{T} \cdot \left[a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + \left(b_0 + b_1 \cdot t\right) \cdot x_v + \left(c_0 + c_1 \cdot t\right) \cdot x_v^2\right] + \frac{P^2}{T^2} \cdot \left(d + e \cdot x_v^2\right)$$

$$x_v = \frac{\phi}{P} \cdot \left(\alpha + \beta \cdot P + \gamma \cdot t^2\right) \cdot e^{\left(A \cdot T^2 + B \cdot T + C + \frac{D}{T}\right)}$$

dove con T si indica la temperatura termodinamica dell'aria [K], t la temperatura in $°C$, e i coefficienti a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, c_0, c_1, d, e, α, β e γ sono forniti nel doc. BIPM- "*Formula per la determinazione della massa volumica dell'aria umida*" [31, 32].

Per l'incertezza di questo contribuito si considera:

$$u_{E\Delta Z} = \left(\frac{\partial E_{CG}}{\partial \Delta Z}\right) \cdot u_{\Delta Z} = \left(\frac{\partial E_{\Delta Z}}{\partial \Delta Z}\right) \cdot u_{\Delta Z} = \frac{V_{CG}}{Z_{CG}} \cdot u_{\Delta Z}$$

$$Z = Z(T_{CG}, P_{CG}, x_{V,CG}) - Z(T_{CC}, P_{CC}, x_{V,CC})$$

$$u_{xv(CG,CC)} = \sqrt{\left[\left(\left.\frac{\partial x_v}{\partial P}\right|_{(CG,CC)}\right) \cdot u_{P(CG,CC)}\right]^2 + \left[\left(\left.\frac{\partial x_v}{\partial T}\right|_{(CG,CC)}\right) \cdot u_{T(CG,CC)}\right]^2 + \left[\left(\left.\frac{\partial x_v}{\partial \phi}\right|_{(CG,CC)}\right) \cdot u_{\phi(CG,CC)}\right]^2}$$

$$u_{\Delta Z} = \sqrt{\left[\left(\left.\frac{\partial Z}{\partial P}\right|_{CG}\right) \cdot u_{P,CG}\right]^2 + \left[\left(\left.\frac{\partial Z}{\partial T}\right|_{CG}\right) \cdot u_{t,CG}\right]^2 + \left[\left(\left.\frac{\partial Z}{\partial x_v}\right|_{CG}\right) \cdot u_{xv,CG}\right]^2 + \left[\left(\left.\frac{\partial Z}{\partial P}\right|_{CC}\right) \cdot u_{P,CC}\right]^2 + \left[\left(\left.\frac{\partial Z}{\partial T}\right|_{CC}\right) \cdot u_{t,CC}\right]^2 + \left[\left(\left.\frac{\partial Z}{\partial x_v}\right|_{CC}\right) \cdot u_{xv,CC}\right]^2}$$

Lettura del volume erogato dalla CG

Questa componente è determinata dal sistema di lettura della scala e dalla determinazione della sezione interna della CG:

$$u_{V,CG} = \sqrt{S_{CG,\text{int}}^2 \cdot u_{\Delta h}^2 + \Delta h^2 \cdot u_{S,CG,\text{int}}^2}$$

dove $u_{Scg,int}$ è l'incertezza associata alla determinazione della sezione interna e $u_{\Delta h}$ è l'incertezza relativa alla lettura dello spostamento. I suddetti contributi si determinano nel modo seguente:

$$u_{S,CG,\text{int}} = 2\pi \cdot r \cdot u_r; \quad u_r = \frac{t}{\sqrt{3}}$$

$$u_{\Delta h} = \sqrt{u_{ris}^2 + u_{acc}^2}$$

avendo indicato con r il raggio interno della CG, con u_r la sua incertezza (ipotizzata con distribuzione rettangolare intorno al valore nominale r con semiampiezza pari a t, tolleranza dimensionale), u_{ris} è la componente relativa alla risoluzione e u_{acc} quella relativa all'accuratezza del sistema di lettura. Si potrebbe anche determinare questo contributo a partire della risoluzione del sistema direttamente sul Volume erogato (taratura della CG); considerando una distribuzione rettangolare e ponendo $V_{ris.}$ risoluzione della scala in dm^3, questa incertezza è esprimibile come:

$$u_{V,CG} = u_{risol.} = \frac{V_{ris.}}{2\sqrt{3}}$$

Il coefficiente di sensibilità di questo contributo è pari a:

$$\left|\frac{\partial E_{CG}}{\partial V_{CG}}\right| = \left|1 - \frac{\Delta t}{t_{CG}} - \frac{\Delta P'}{P_{CC}} - \frac{\Delta P_q \cdot d'}{P_{CG}} - \frac{\Delta Z}{Z_{CG}} - \left(1 + \alpha_{SC} \cdot \Delta t_{SC}\right) \cdot \left(1 - \left(1 + \alpha_{CG} \cdot \Delta t_{SC}\right)^2\right)\right|$$

Volume di riferimento della CC

Questa componente si ricava direttamente dal certificato di taratura della CC:

$$u_{V,CC} = \frac{U_{CC}(k)}{k}$$

dove $U_{CC}(k)$ è l'incertezza estesa di taratura dichiarata dal certificato della CC e k è il fattore di copertura dichiarato nel certificato. Il coefficiente di sensibilità è pari a:

$$\left|\frac{\partial E_{CG}}{\partial V_{CC}}\right| = \left|-1 + \left(1 - \left(1 + \alpha_{CC} \cdot \Delta t_{CC}\right)^3\right) + \frac{\Delta P_v}{P_{CC}} + \frac{d'' \cdot \Delta P_q}{P_{CC}}\right|$$

Considerazioni sull'Ambiente di Prova

Le condizioni ambientali del laboratorio che ospita una rampa di taratura per contatori del gas devono essere idonee dal punto di vista termoigrometrico. I valori di riferimento normalmente sono posti a (20±2) °C e (55±10) %UR, ma numerosi sono gli ulteriori aspetti da prevedere e/o da tenere sotto controllo:

- spazi ampi e assenza di finestrature
- doppia porta di accesso tra area climatizzata ed area con aria a temperatura ambiente o climatizzazione dell'area di ingresso nel laboratorio per garantire un'adeguata compensazione
- prese di ventilazione e di ripresa aria non troppo vicine alla CG
- area adeguata per la climatizzazione dei contatori all'interno del laboratorio prima della prova

Condizioni lontane da quelle di riferimento e carenze strutturali del laboratorio potrebbero determinare, di conseguenza, una forte instabilità e disuniformità delle condizioni termiche e sensibili gradienti di temperatura nelle varie posizioni assunte dalla CG, con effetti non trascurabili (e difficilmente stimabili) sulla stabilità e ripetibilità del posizionamento della CG.

Considerazioni Finali

La sperimentazione effettuata ed i risultati ottenuti consentono al laboratorio di operare adeguatamente nella verifica dei contatori del gas. Infatti, applicando alle letture le correzioni determinate sperimentalmente (tabella 4.6) si può tranquillamente riscontrare che l'incertezza della caratterizzazione (circa 0,3%) rispetta la condizione di essere inferiore ad 1/5 dell'EMT (superiore a 1,5%).

Capitolo 5

L'allegato MI-003: Contatori di Energia Elettrica Attiva

La caratteristica che contraddistingue l'energia elettrica è la sua capacità di essere vettoriata con estrema facilità rispetto ad altre forme di energia.
La sua misura ha un'importanza pratica di enorme rilevanza dato che costituisce la base dei rapporti commerciali tra produttore ed utente. La misura dell'energia elettrica può essere compiuta mediante numerosi strumenti ed apparati classificabili in *analogici* (elettrostatici di tipo volt-amperometrici, elettrodinamici di tipo ad induzione magnetica, etc...) e *digitali*.
Fino a qualche anno fa lo strumento in assoluto più utilizzato nelle misure di energia elettrica domestica ed industriale era il contatore ad induzione. Oggi tale strumento è stato superato da quello digitale grazie alle migliori performances di quest'ultimo.
A questo vantaggio si unisce la maggiore flessibilità dello strumento e la possibilità tipica della strumentazione digitale di effettuare tariffe multiorarie, telelettura e diagnostica. I contatori digitali permettono di effettuare una misura contemporanea di tensione e corrente per una valutazione più corretta della potenza assorbita [35, 36].
La taratura dei contatori di energia elettrica può avvenire secondo due modalità:

1. confronto con strumenti di verifica certificati (solitamente wattmetri e alimentatori)
2. applicazione di un carico fittizio con caratteristiche note

Nel primo caso bisogna garantire la costanza delle condizioni di prova per tutta la durata della misura [37]. Le modalità di taratura di un contatore di energia elettrica costituiscono un bagaglio di conoscenza oggi piuttosto consolidato. La letteratura tecnica e scientifica ha in passato dedicato buona attenzione allo sviluppo ed alla

ottimizzazione di tali metodologie. Sono oggi disponibili sul mercato numerosi generatori campione di energia elettrica così come anche carichi campioni.

La MID definisce *contatore di energia elettrica* attiva un dispositivo che misura l'energia elettrica attiva consumata in un circuito; definendo:

- I intensità della corrente elettrica che circola nel contatore;
- I_n corrente di riferimento specificata per cui è stato progettato il trasformatore in funzione;
- I_{st} valore minimo dichiarato di I in corrispondenza del quale il contatore registra energia elettrica attiva a fattore di potenza unitario (contatori polifase a carico equilibrato);
- I_{min} valore di I al di sopra del quale l'errore si mantiene entro i limiti massimi tollerabili (contatori polifase a carico equilibrato);
- I_{tr} valore di I al di sopra del quale l'errore si mantiene entro i limiti minori tollerabili corrispondenti all'indice della classe del contatore;
- I_{max} valore massimo di I per cui l'errore rimane entro i limiti massimi tollerabili;
- U tensione dell'energia elettrica fornita al contatore;
- U_n tensione dell'energia elettrica di riferimento specificata;
- f frequenza della tensione elettrica fornita al contatore;
- f_n frequenza di riferimento specificata;
- PF fattore di potenza = cosφ = coseno dello sfasamento φ tra I e U.

La MID definisce per i contatori della energia elettrica attiva inizialmente tre classi di precisione dei contatori (A, B, e C) e per ognuno di essi il costruttore definisce le condizioni nominali di funzionamento, come riportato nella successiva tabella.

	Classe A	Classe B	Classe C
Per contatori a collegamento diretto			
I_{st}	$\leq 0{,}05 \cdot I_{tr}$	$\leq 0{,}04 \cdot I_{tr}$	$\leq 0{,}04 \cdot I_{tr}$
I_{min}	$\leq 0{,}5 \cdot I_{tr}$	$\leq 0{,}5 \cdot I_{tr}$	$\leq 0{,}3 \cdot I_{tr}$
I_{max}	$\geq 50 \cdot I_{tr}$	$\geq 50 \cdot I_{tr}$	$\geq 50 \cdot I_{tr}$
Per contatori funzionanti tramite un trasformatore			
I_{st}	$\leq 0{,}06 \cdot I_{tr}$	$\leq 0{,}04 \cdot I_{tr}$	$\leq 0{,}02 \cdot I_{tr}$
I_{min}	$\leq 0{,}4 \cdot I_{tr}$	$\leq 0{,}2 \cdot I_{tr}$ ([1])	$\leq 0{,}2 \cdot I_{tr}$
I_n	$= 20 \cdot I_{tr}$	$= 20 \cdot I_{tr}$	$= 20 \cdot I_{tr}$
I_{max}	$\geq 1{,}2 \cdot I_n$	$\geq 1{,}2 \cdot I_n$	$\geq 1{,}2 \cdot I_n$

([1]) Per i contatori elettromeccanici I_{min} della classe B si applica $\leq 0{,}4 \cdot I_{tr}$.

Tabella 5.1. - Classificazione dei contatori di energia elettrica

I contatori devono rispettare le condizioni operative di funzionamento nominale. Si passa quindi alla tensione ed alla frequenza di funzionamento.
In particolare si definiscono le seguenti regole:

$$0{,}9\ U_n < U < 1{,}1\ U_n$$
$$0{,}98\ f_n < f < 1{,}02\ f_n,$$

dove:

- U tensione dell'energia elettrica fornita al contatore,
- U_n tensione dell'energia elettrica di riferimento specificata;
- f frequenza della tensione elettrica fornita al contatore con
- f_n frequenza di riferimento specificata.

Gli intervalli riportati tengono conto delle caratteristiche tipiche della corrente elettrica erogata dalle società di distribuzione.
In ultimo, l'intervallo del fattore di potenza (PF) deve essere almeno da $\cos\varphi = 0{,}5$ induttivo a $\cos\varphi = 0{,}8$ capacitivo, dove $\cos\varphi$ è il coseno dello sfasamento φ tra I e U.

Per ogni condizione di funzionamento la direttiva fornisce anche gli errori massimi tollerati, dove gli effetti dei vari misurandi e delle grandezze d'influenza (a, b, c, ...) sono valutati separatamente, mentre tutti gli altri misurandi e grandezze d'influenza devono essere mantenuti possibilmente costanti ai loro valori di riferimento.
L'errore di misurazione, che non deve superare il limite massimo tollerabile di cui alla Tab. 1, è calcolato come segue:

$$E = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 ...}$$

Allorché il contatore funziona a corrente di carico variabile gli errori in percentuale non devono superare i limiti indicati in percentuale nella successiva Tabella :

Errori massimi tollerati in percentuale a condizioni di funzionamento nominali, livelli di corrente di carico definito e temperatura di funzionamento

	Temperature di funzionamento			Temperature di funzionamento			Temperature di funzionamento			Temperature di funzionamento		
	+ 5 °C ... + 30 °C			− 10 °C ... + 5 °C o + 30 °C ... + 40 °C			− 25 °C ... − 10 °C o + 40 °C ... + 55 °C			− 40 °C ... − 25 °C o + 55 °C ... + 70 °C		
Classe del contatore	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Contatori monofase; contatori polifase, se funzionanti con carichi equilibrati												
$I_{min} \leq I < I_{tr}$	3,5	2	1	5	2,5	1,3	7	3,5	1,7	9	4	2
$I_{tr} \leq I \leq I_{max}$	3,5	2	0,7	4,5	2,5	1	7	3,5	1,3	9	4	1,5
Contatori polifase, se funzionanti con carico monofase												
$I_{tr} \leq I \leq I_{max}$, vedi eccezione in appresso	4	2,5	1	5	3	1,3	7	4	1,7	9	4,5	2

Per i contatori polifase elettromeccanici l'intervallo gamma di corrente per carichi monofase è limita a $5I_{tr} \leq I \leq I_{max}$.

Tabella 5.2. - Errori massimi Permessi per i contatori di energia elettrica

Particolare attenzione è poi data alla tolleranza ai disturbi elettromagnetici (Tabella 5.3). Poiché i contatori elettrici sono direttamente collegati al cavo principale di erogazione che rappresenta anche uno dei misurandi, per i contatori elettrici si

utilizza un ambiente elettromagnetico speciale. Il contatore deve essere quindi conforme all'ambiente elettromagnetico industriale (classe E2) ed ai requisiti complementari. Come espresso dalla direttiva, l'ambiente elettromagnetico e gli effetti tollerati rispecchiano una situazione in cui si possono registrare disturbi di lunga durata che non devono influenzare l'accuratezza oltre i valori critici di variazione espressi nella successiva tabella 3

Disturbo	Valori critici di variazione in % per contatori delle classi		
	A	B	C
Sequenza di fase invertita	1,5	1,5	0,3
Squilibrio di tensione (solo per contatori polifase)	4	2	1
Contenuti armonici nei circuiti elettrici (1)	1	0,8	0,5
Corrente continua e armoniche nel circuito elettrico (1)	6	3	1,5
Raffiche (burst)	6	4	2
Campi magnetici; Campo elettromagnetico ad alta frequenza (radiofrequenza irradiata); Disturbi indotti da campi di radiofrequenze e immunità da onde oscillanti	3	2	1

(1) Nel caso di contatori di elettricità elettromeccanici non vengono definiti valori di variazioni critici per contenuti armonici nei circuiti elettrici e per la corrente continua e armoniche nel circuito elettrico.

Tabella 5.3. - Errori massimi Permessi in presenza di grandezze di influenza

Inoltre, qualora vi sia un alto rischio di *effetti passeggeri* (es. fulmini) o vi sia una prevalenza di reti aeree di fornitura, si provvede alla protezione delle caratteristiche metrologiche del contatore. Gli effetti di un *disturbo elettromagnetico passeggero* su un contatore di energia elettrica dovranno essere tali che durante o subito dopo il disturbo, ogni uscita destinata a testare l'accuratezza del contatore:

a) non deve produrre segnali o impulsi corrispondenti a un'energia oltre il valore di variazione critico,

b) in un lasso di tempo ragionevole deve recuperare la capacità di funzionamento entro i limiti dell'errore massimo permesso, e deve conservare l'integrità di tutte le funzioni di misurazione,
c) deve consentire il recupero di tutti i dati di misurazione presenti immediatamente prima del verificarsi del disturbo,
d) non deve indicare nell'energia registrata una variazione superiore ai valori critici.

Il valore critico di variazione in kWh è pari a $m \cdot U_n \cdot I_{max} \cdot 10^{-6}$ (dove m è il numero degli elementi di misura del contatore, U_n è misurato in Volt e I_{max} in Ampere).
Per la sovracorrente il valore critico di variazione è 1,5 %.
Le indicazioni riportate nella MID, nello scenario attuale di deregolamentazione del mercato delle energia elettrica promettono di avere notevoli ricadute tecniche e commerciali che coinvolgeranno il mondo della produzione e verifica dei contatori di energia elettrica attiva.
Le ricadute tecniche sono da ricercarsi soprattutto nelle necessità di cambiare gli attuali metodi di taratura che fanno riferimento a segnali puramente sinusoidali. Tali segnali però, non riflettono né le proprietà dell'energia elettrica presente sul mercato, né le nuove indicazioni previste dalla MID. Questa ricaduta porta da un lato la necessità di dotarsi di strumentazione di misura capace di generare i disturbi transitori e di lunga durata previsti dalla MID, e dall'altro la necessità di rivedere le procedure di taratura tutte basate su segnali esclusivamente sinusoidali.
La deregolamentazione del mercato porta un aumento consistente del numero di fornitori che utilizzano i sistemi di trasmissione e di distribuzione, di conseguenza si è assiste all'incremento delle transazioni e delle misurazioni ad esse connesse. Tutto ciò si somma al crescente uso di sofisticate apparecchiature elettriche ed elettroniche, che tra gli effetti indesiderati hanno alcuni fenomeni quali la distorsione armonica, rumore e transitori, così come i buchi e le sovratensioni sulla rete di fornitura. L'entità di tali fenomeni è destinata a crescere, dal momento che il carico complessivo aumenta e diviene sempre più non lineare.

Di conseguenza le apparecchiature devono essere testate o controllate per poter provare che le prestazioni rispondano alle specifiche pubblicate dal fornitore e richieste dalle varie autorità normative. Ciò è valido per il collaudo nella fase di sviluppo, per le singole unità durante il processo produttivo e per la manutenzione ordinaria nel corso della sua durata di esercizio. Fino ad oggi, non vi sono state fonti di energia precise, accurate e tracciabili, né disturbi della qualità di alimentazione sono stati definiti con certezza per poter determinare la precisione di misura di tali strumenti.

Questo comporta: i) l'esigenza di misurare i fenomeni sopra descritti in modo sempre più coerente ed affidabile (l'attuale mancanza di tracciabilità può portare ad un conflitto tra le misure eseguite con strumenti diversi senza possibilità di porvi rimedio); ii) la necessità di garantire che le misure "*convenzionali*" vengano eseguite in modo preciso ed affidabile anche in base ad un nuovo gruppo di condizioni di lavoro e misura.

Diverse sono gli Enti, le Organizzazioni ed i Fabbricanti coinvolti e che quindi hanno bisogno di adeguare i loro sistemi di misura della potenza e qualità della rete:

(i) i costruttori di strumenti per la misura della potenza e dell'energia che devono verificare le prestazioni sia in fase di progettazione che di produzione;

(ii) gli utilizzatori di strumenti di misura della potenza che devono verificare le prestazioni degli strumenti che utilizzano (fornitori di servizi, consumatori, grandi impianti di produzione che impiegano notevoli quantità di energia elettrica);

(iii) uffici metrici e laboratori riconosciuti secondo il DL 182/2000 che offrono sul mercato servizi per la taratura e verifica e la tracciabilità.

Come prima conseguenza della direttiva MID tutti i contatori installati successivamente alla entrata in vigore della MID (feb_2007) dovranno essere messi in commercio con prove di tipo e di modello che tengano conto anche degli ambienti elettrici, meccanici, termici, ed elettromagnetici.

Dati gli alti costi che queste prove imporranno diversi scenari sono possibili:

- *realizzare contatori di energia elettrica attiva che abbiano al loro interno anche strumentazione per la misura della qualità dell'energia*: tali strumenti al verificarsi di alcune condizioni previste dalla direttiva, potrebbero mediante tecniche di carico fittizio, provvedere anche ad opportune tarature.
- *non dotare i contatori di tale strumentazione* e prevedere la realizzazione di particolari generatori calibrati capaci anche di realizzare i disturbi
- *prevedere dopo un numero di anni da definire il distacco* di un contatore per l'esecuzione di prove di verifica in laboratorio.

Capitolo 6

L'allegato MI-004: Contatori di Calore

La Misura dell'Energia Termica

La misura dell'energia termica può essere ricondotta alle tre modalità di scambio termico (*conduzione*, *convezione* ed *irraggiamento*) e alla direzione ed entità dello scambio (energia fornita/assorbita/dispersa), in particolare:

- conduzione attraverso superfici di controllo (mediante la misura dei gradienti termici e note le caratteristiche conduttive di un materiale di riferimento);
- trasmissione per mezzo di un fluido termovettore (mediante la misura dell'entalpia del fluido termovettore e delle portate di massa effluenti);
- la misura della radiazione termica (mediante la misura diretta del flusso radiativo o indirettamente mediante la misura della temperatura della superficie emittente con tecniche termografiche).

Le misure di temperatura possono senz'altro essere considerate oggi affidabili ed adeguatamente riferibili (in Italia operano nel settore della *temperatura* più di 30 centri SIT), altrettanto non è possibile affermare per le misure di energia termica in quanto i) raramente i dispositivi di misura dell'energia (*heat meter*) possono essere caratterizzati nel loro complesso (spesso vengono tarati i soli sensori di temperatura); ii) la conoscenza dei parametri termofisici dei materiali su cui viene effettuata la misura risulta spesso solo qualitativa; iii) i sensori di misura alterano profondamente i meccanismi di scambio termico determinando errori di inserzione; iv) raramente il problema di scambio termico può essere isolato alle sole componenti trasmissive (conduttive, convettive e radiative).

Il *Contatore di Energia Termica (CET)* rappresenta il caso più comune di misura di energia termica Q_t fornita all'utenza mediante un fluido termovettore.

Il valore dell'energia erogata ad una generica utenza è misurato attraverso una misura della differenza di entalpia (valutata attraverso la misura della temperatura ed ipotizzando nota e costante la pressione) e della portata del fluido termovettore (ipotizzando note le proprietà termofisiche del fluido).

L'equazione caratteristica per la misura dell'energia termica si ricava da un bilancio di energia per i sistemi aperti con le seguenti ipotesi (Figura 6.1.):

- moto stazionario e flusso monodimensionale
- 1 solo ingresso ed 1 sola uscita
- assenza di scambi di energia in modo lavoro
- variazioni di quota trascurabili tra ingresso ed uscita
- variazione di velocità trascurabili tra ingresso ed uscita

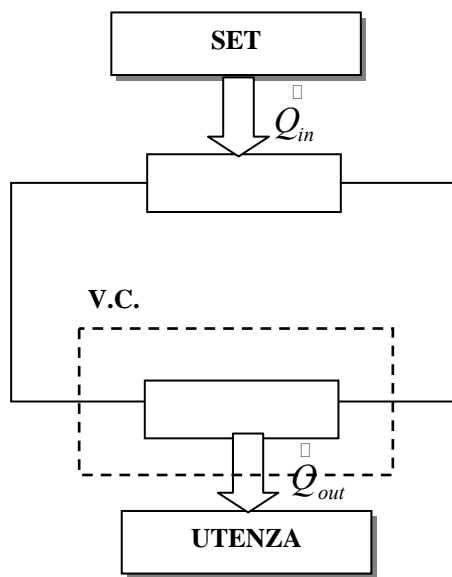



Figura 6.1. – Schema a blocchi per la misura dell'Energia Termica

Generalmente il fluido termovettore è acqua nelle condizioni di *liquido sottoraffreddato* o di *vapore surriscaldato*. L'equazione per il modello considerato è:

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta h = \dot{m}(h_i - h_u)$$

con $\dot{m}$ portata massica [kg/s] e h_i e h_u entalpia del fluido termovettore in ingresso ed in uscita [kJ/kg], rispettivamente. Per i liquidi vale la seguente relazione:

$$dh = c_p dT + vdp$$

con c_p [kJ/kgK] calore specifico a pressione costante e v [m^3/kg] volume specifico del fluido termovettore. Ritenendo le perdite di carico nei condotti trascurabili e considerando che, per effetto dell’esiguità di v, il termine vdp è di almeno un ordine di grandezza inferiore a $c_p dT$, possiamo ritenere che per i liquidi vale:

$$dh = c_p dT$$

Per realizzare quindi un sistema efficace per la misura dell’energia termica si dovranno utilizzare:

1. due sensori di temperatura del fluido, di cui uno in ingresso ed uno in uscita
2. un misuratore di portata, generalmente volumetrico, montato sulla tubazione di ritorno in modo da evitare gli stress termici
3. un modulo di calcolo per l’acquisizione dei segnali provenienti dai sensori e di elaborare il valore dell’energia termica scambiata.

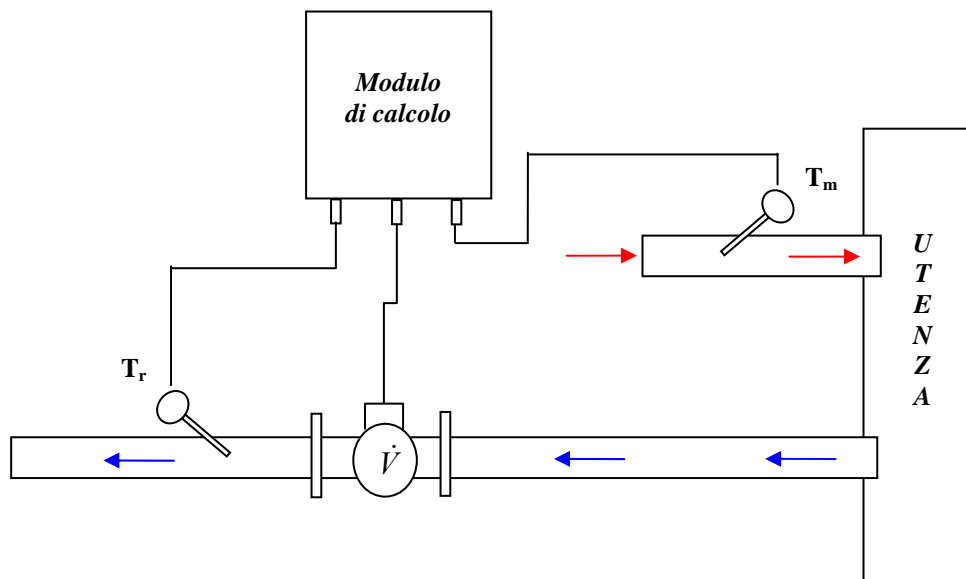



Figura 6.2. – Schema di un Contatore di Energia Termica

L'energia termica ceduta in un impianto del tipo schematizzato in Figura 6.2. è quindi esprimibile mediante:

$$Q = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \rho \dot{V} c_p \Delta T d\theta = \sum_{i=1}^{n} \overline{\rho_i} \dot{V}_i \overline{c_p} \Delta T_i \Delta \theta_i$$

dove *n* è il numero di periodi di funzionamento, ciascuno di durata $\Delta\theta$ e $\overline{\rho_i}$ è la densità media del fluido termovettore valutata nell'intervallo *iesimo* $\Delta\theta_i$

$$\overline{\rho} = \frac{1}{T_{R,f} - T_{R,i}} \int_{T_{R,i}}^{T_{R,f}} \rho(T) dT$$

- $T_{R,f}$ e $T_{R,i}$ sono le temperature misurate nel tratto di ritorno dell'impianto (rispettivamente negli istanti iniziale e finale dell'intervallo di tempo $\Delta\theta_i$), perché, in genere, lungo questa viene montato il sensore di portata;
- $\dot{V}$ è la portata volumetrica dell'impianto, misurata nell'intervallo $\Delta\theta_i$
- $\overline{c_p}$ è il calore specifico medio valutato tra le temperature di mandata T_m e di ritorno T_r, ed è calcolato attraverso la relazione:

$$\overline{c_p} = \frac{1}{T_m - T_r} \int_{T_m}^{T_r} c_p(T) dT$$

- ΔT è la differenza di temperatura T_m-T_r nell'intervallo $\Delta\theta_i$

Generalmente, dalla misura della temperatura di mandata T_m e di ritorno T_r il modulo di calcolo provvede alla determinazione del *coefficiente termico volumico*, K_i, nell'intervallo di tempo $\Delta\theta_i$:

$$K_i = K_i(T_m, T_r) = \overline{\rho}(T_r)\overline{c_p}(T_m, T_r)$$

Concludendo, l'energia termica misurata è espressa dalla relazione:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} K_i \dot{V}_i (T_m - T_r) \Delta\theta_i$$

ossia dal prodotto della portata volumetrica e della differenza di temperatura tra mandata e ritorno, integrato nel tempo e moltiplicato per il coefficiente termico volumico. A queste due ultime operazioni provvede la centralina elettronica di elaborazione.

Nella figura che segue si riporta l'immagine di un Contatore di Energia Termica; si nota la centralina di elaborazione e i sensori di temperatura di mandata (etichetta rossa) e di ritorno (etichetta blu).

Figura 6.3. –Contatore di Energia Termica

I Requisiti della MID

La direttiva MID all'allegato *MI-004: Contatori di Calore*, adotta le seguenti simbologie:

- ϑ temperatura del liquido di trasmissione di calore;
- ϑ_{in} temperatura all'ingresso del circuito di scambio termico;
- ϑ_{out} temperatura di ϑ all'uscita del circuito di scambio termico;
- $\Delta\theta$ differenza di temperatura ϑin - ϑout; con $\Delta\vartheta \geq 0$
- ϑ_{max} limite superiore di temperatura;
- ϑ_{min} limite inferiore di temperatura;
- $\Delta\vartheta_{max}$ limite superiore della differenza di temperatura;
- $\Delta\vartheta_{min}$ limite inferiore della differenza di temperatura;
- q portata del liquido di trasmissione di calore;

- q_s valore massimo di portata consentito per brevi periodi;
- q_p valore massimo di portata consentito in permanenza;
- q_i valore minimo di portata consentito;
- P potenza termica dello scambio termico;
- P_s limite superiore di P consentito;

La MID impone al Fabbricante di specificare:

- temperatura del liquido(mandata e ritorno): ϑ_{max}, ϑ_{min},
- differenze di temperatura : $\Delta\vartheta_{max}$, $\Delta\vartheta_{min}$, nel rispetto delle condizioni $\Delta\vartheta_{max}/\Delta\vartheta_{min} \geq 10$ e $\Delta\vartheta_{min} = 3$, 5 o 10 K;
- pressione del liquido, ossia la massima pressione interna positiva che il contatore di calore può tollerare in regime permanente al limite superiore dell'intervallo di temperature;
- portate del liquido (q_s, q_p, q_i, con $q_p/q_i \geq 10$);
- potenza termica P_s

L'Accertamento di Conformità prevede, come per tutti gli "*utility meters*" la scelta di una delle tre opzioni:

- (B) Esame del tipo + (D) Garanzia qualità della produzione
- (B) Esame del tipo + (F) Verifica su prodotto
- (H1) Garanzia qualità totale con controllo della progettazione

La direttiva MID per questa classe di strumenti definisce l'errore massimo permesso in funzione delle caratteristiche dei sensori utilizzati per la misura del flusso e delle temperature e della centralina di elaborazione.

Per quanto riguarda i *Disturbi Elettromagnetici*, lo strumento non deve essere influenzato da campi magnetici statici e da campi elettromagnetici a frequenza di rete. L'influenza di un'interferenza elettromagnetica deve essere tale che la variazione del risultato della misurazione non sia superiore al valore di variazione critico, oppure il risultato della misurazione sia indicato in modo tale da non poter essere interpretato come valido.

La prova di *Durabilità* prevede che dopo l'esecuzione di una prova appropriata che tenga conto del periodo di tempo stimato dal fabbricante, devono essere soddisfatti i seguenti criteri:

- *sensori di flusso*: la variazione del risultato della misurazione dopo la prova di durabilità rispetto al risultato della misurazione iniziale non deve superare il valore di variazione critico;
- *sensori di temperatura*: la variazione del risultato della misurazione dopo la prova di durabilità rispetto al risultato della misurazioni iniziale non deve superare 0,1 °C.

La Direttiva MID definisce come valore di variazione critico per un contatore di Energia Termica completo è pari al valore assoluto dell'EMT applicabile.

La classificazione degli errori massimi è riportata di seguito:

i) *sensore di flusso*, espresso in % per le classi di accuratezza:
   - Classe 1: $E_f=(1+0,01\cdot q_p/q)$, ma non superiore a 5 %
   - Classe 2: $E_f=(2+0,02\cdot q_p/q)$, ma non superiore a 5 %
   - Classe 3: $E_f=(3+0,05\cdot q_p/q)$, ma non superiore a 5 %

   dove l'errore E_f si riferisce al valore indicato come valore reale della relazione tra il segnale di uscita del sensore di flusso e la massa o volume, q_p è la *portata di permanenza*.

ii) per i *sensori di temperatura*, $E_t=(0,5+3\cdot\Delta\vartheta_{min}/\Delta\vartheta)$, dove l'errore percentuale E_t si riferisce al valore indicato come valore reale della relazione tra segnale di uscita della coppia di sensori di temperatura e differenza delle temperature.

iii) *sistema di elaborazione* (calcolatore), $E_c= (0,5+\Delta\vartheta_{min}/\Delta\vartheta)$ dove l'errore E_c percentuale si riferisce al valore indicato come valore reale del calore.

Le relazioni sopra riportate si possono quindi riscrivere per ciascuna delle classi di accuratezza come segue:

$$MPE_1 = \pm\left[\left(1+0,01\cdot q_p/q\right)+\left(0,5+3\cdot\Delta\vartheta_{\min}/\Delta\vartheta\right)+\left(0,5+\Delta\vartheta_{\min}/\Delta\vartheta\right)\right]$$

$$MPE_2 = \pm\left[\left(2+0,02\cdot q_p/q\right)+\left(0,5+3\cdot\Delta\vartheta_{\min}/\Delta\vartheta\right)+\left(0,5+\Delta\vartheta_{\min}/\Delta\vartheta\right)\right]$$

$$MPE_3 = \pm\left[\left(3+0,03\cdot q_p/q\right)+\left(0,5+3\cdot\Delta\vartheta_{\min}/\Delta\vartheta\right)+\left(0,5+\Delta\vartheta_{\min}/\Delta\vartheta\right)\right]$$

Da questo scaturisce che i massimi errori permessi per le 3 classi di contatore di energia termica sono forniti da:

$$MPE_1 = \pm\left[2 + 0,01 \cdot q_p / q + 4 \cdot \Delta\vartheta_{\min} / \Delta\vartheta\right]$$
$$MPE_2 = \pm\left[3 + 0,02 \cdot q_p / q + 4 \cdot \Delta\vartheta_{\min} / \Delta\vartheta\right]$$
$$MPE_3 = \pm\left[4 + 0,03 \cdot q_p / q + 4 \cdot \Delta\vartheta_{\min} / \Delta\vartheta\right]$$

Ad esempio, per la classe 2 si può rappresentare la situazione in figura 6.4.

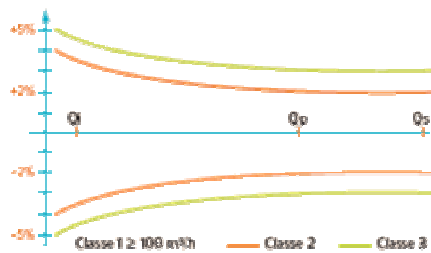
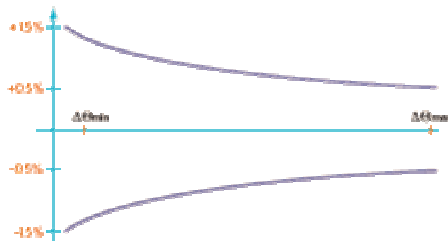
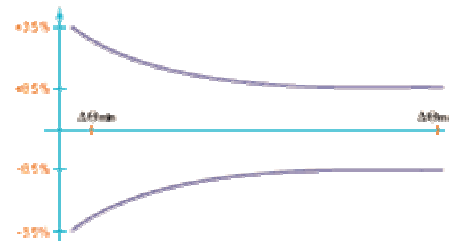



Figura 6.4. –Errori Massimi Permessi per un Contatore di Energia Termica, classe 2

La raccomandazione OIML R75-2:2002 riporta una tabella di prove da effettuarsi per la qualifica dello strumento secondo la Direttiva MID (lo norma OIML è a tutti gli effetti il riferimento normativo da adottare):

Test	Subclause	Exposure	Temperature sensor pair	Flow sensor	Calculator	Complete meter	Number of sample*)
		Influence factors					
MPE	6.4	Performance test	X	X	X	X	2
MPE	6.5	Dry heat		X (a)	X	X	2
MPE	6.6	Cold		X (a)	X	X	2
MPE	6.7	Static deviations in supply voltage		X (a)	X	X	2
		Disturbances					
NSFa	6.8	Durability	X	X		X	2
NSFd	6.9	Damp heat, cyclic		X (a)	X	X	1
NSFd	6.10	Short time reduction in supply voltage		X (a)	X	X	3
NSFa	6.11	Electrical transients		X (a) (b)	X(b)	X	3
NSFd	6.12	Electromagnetic field		X (a) (b)	X(b)	X	3
NSFa	6.13	Electrostatic discharge		X(a)	X	X	3
NSFd	6.14	Static magnetic field		X	X	X	3
NSFd	6.15	Electromagnetic field at mains frequency		X(a)	X	X	3
NSFa	6.16	Internal pressure		X		X	1
	6.17	Pressure loss		X		X	1

MPE - Maximum permissible error according to clause 9 of R 75-1
NSFd - No significant fault shall occur during the test
NSFa - No significant fault shall occur after the test
X - Test to be performed
a - Only for flow sensors with electronic devices
b - This test shall be done with connected cables
*) - Recommended

Tabella 6.1. – OIML R75-2:2002 piano di prova per qualifica MID di un Contatore di Energia Termica

Di seguito si riportano le normative applicabili ai contatori di calore:

- OIML R75-1:2002 *Heat meters. Part 1: General requirements*
- OIML R75-2:2002 *Heat meters. Type approval tests*
- OIML R75-3:2006 *Heat meters. Test Report Format*
- WELMEC 8.14:2006 *Measuring Instruments Directive 2004/22/EC Heat Meters Corresponding Tables OIML R 75-1 and R 75-2 2002 – MID-004*
- UNI EN 1434-1:2007 *Contatori di calore - Parte 1: Requisiti generali*
- UNI EN 1434-2:2007 *Contatori di calore: Requisiti costruttivi*
- UNI EN 1434-3:2007 *Contatori di calore:Scambio di dati e interfacce*
- UNI EN 1434-4:2007 *Contatori di calore: Prove per l'approvazione del modello*

- UNI EN 1434-5:2007 *Contatori di calore: Prove per la verifica prima*
- UNI EN 1434-6:2007 *Contatori di calore - Parte 6: Installazione, messa in servizio, controllo e manutenzione*

La Verifica dei Contatori di Energia Termica

La verifica dei Contatori di Energia Termica avviene garantendo la riferibilità metrologica a ciascuno degli elementi costitutivi, in particolare al sensore di flusso ed alla coppia di sensori di temperatura (vedi Figura 6.5.).

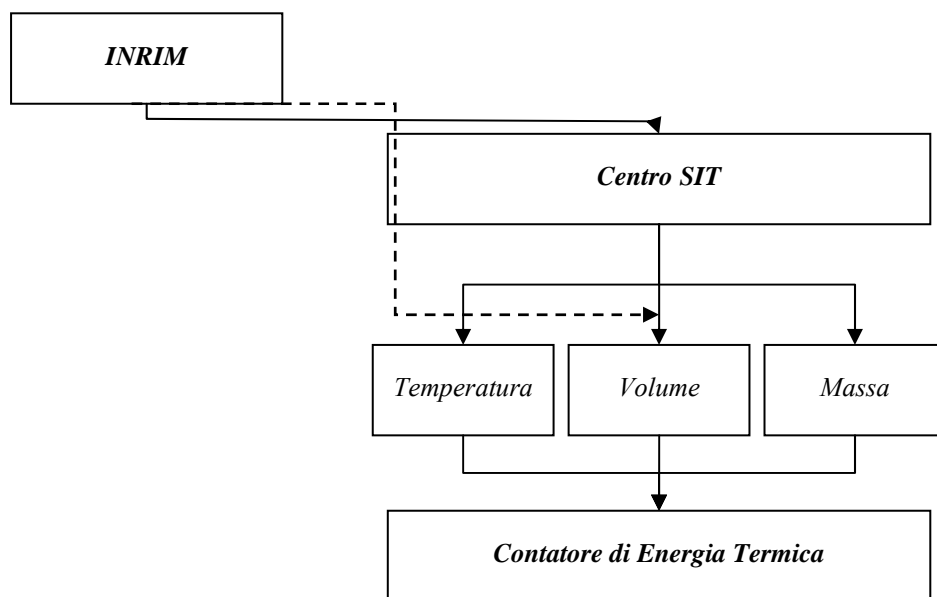



Figura 6.5. – Catena di Riferibilità per la verifica dei Contatori di Energia Termica

Volendo stimare l’incertezza totale di un Contatore di Calore vanno fatte alcune osservazioni. Il contributo di incertezza della variazione della densità del fluido termovettore al variare della temperatura e della pressione, applicando la legge di propagazione delle incertezze [33, 34], può essere scritto:

$$I_\rho^{\,2} = \left(\frac{\partial \rho}{\partial p}\right)^2 I_p^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial \vartheta}\right)^2 I_\vartheta^2$$

con i coefficienti di sensibilità, rispettivamente uguali a:

$$\frac{\partial \rho}{\partial p} = -\frac{1}{v^2}\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_\vartheta = \frac{1}{v} k_\vartheta$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \vartheta} = -\frac{1}{v^2}\left(\frac{\partial v}{\partial \vartheta}\right)_p = -\frac{1}{v} \beta$$

La valutazione dei coefficienti elastici (k_ϑ e β) del fluido termovettore è, pertanto un'utile indicazione dell'errore commesso nel ritenere costante la densità del fluido termovettore, ρ. Valori tipici di variazione di questi coefficienti per l'acqua, nei due possibili stati termodinamici di utilizzo nell'applicazione, sono rioportati nella tabella 6.2., da cui si evince che, solo nel caso di vapore surriscaldato, la variazione della densità al variare della pressione non è trascurabile:

	β *[%/°C]*	k_ϑ *[%/bar]*
Liquido	0,05	≅ 0
Vapore Surriscaldato	0,2	5

Tabella 6.2. – Valori tipici di variazione dei coefficienti β e k_ϑ per l'acqua

La variazione del calore specifico, c_p, anche nel caso di vapore surriscaldato non supera mai lo 0,1 %/°C, per cui nelle equazioni precedenti è lecito utilizzare i valori medi nell'intervallo delle temperature di esercizio.

Trascurando quindi l'incertezza associata alla determinazione di K_i e del tempo di integrazione, l'incertezza associata alla misura dell'energia termica è funzione del solo prodotto tra la portata volumetrica q e la differenza di temperatura $\Delta\vartheta$.

Applicando al prodotto $Q=q\cdot\Delta\vartheta$ la legge di propagazione delle incertezze [33, 34] si ottiene $i_Q^{\,2} = i_q^{\,2} + i_{\Delta\vartheta}^{\,2}$, dove:

- $i_Q^{\,2}$ incertezza relativa associata alla misura di energia Q

- $i_q^{\ 2}$ incertezza relativa associata alla misura di portata volumetrica q
- $i_{\Delta\vartheta}^{\ 2}$ incertezza relativa associata alla misura della temperatura ϑ

Inoltre, sempre per la legge di propagazione delle incertezze applicata ad una misura per differenza, si ottiene:

$$i_{\Delta\vartheta}^{\ 2} = \frac{I_{\vartheta_{in}}^{\ 2} + I_{\vartheta_{out}}^{\ 2}}{\Delta\vartheta^2}$$

Utilizzando valori tipici di incertezza nel caso di misura della temperatura con termocoppia o termoresistenza si possono utilizzare i seguenti valori:

- I_ϑ=±(0.15+0,002·ϑ) per una termoresistenza Pt100 al Platino, [29];
- I_ϑ=±0,5 °C per una termocoppia tipo "T" grado speciale, [29].

La Direttiva MID all'allegato MI-004 fissa tra le grandezze caratteristiche il rapporto $\Delta\vartheta_{\max} / \Delta\vartheta_{\min} > 10$, tra la massima e la minima differenza di temperatura del fluido termovettore, nel rispetto delle incertezze massime previste.

Per quanto riguarda la misura della portata, teoricamente essa può essere effettuata con qualunque tecnica, ma nella pratica la scelta si riduce ai misuratori volumetrici, del tipo a turbina o elettromagnetici. L'incertezza tipica dei suddetti misuratori volumetrici è variabile con la portata, ed è compresa, nel campo di applicazione dei Contatori di Calore, tra il 2÷3% V.L., per crescere esponenzialmente alle portate più basse.

Per questo motivo la MID fissa tra le grandezze caratteristiche anche la q_i, intesa come la portata in volume più piccola che transita attraverso il sensore di portata e alla quale il Contatore di Calore deve rispettare l'incertezza prescritta.

Volendo stimare un ipotetico bilancio di incertezza in condizioni di funzionamento normali, ipotizzando l'uso di 2 termoresistenze al platino Pt500 per la misura del $\Delta\vartheta$ e assumendo un'incertezza sulla misura della portata volumetrica pari a i_q = 3% V.L. possiamo determinare l'incertezza totale di un Contatore di Calore come di seguito riportato, considerando una temperatura di mandata, ϑ_{in} = 90°C e una temperatura di ritorno, ϑ_{out}= 60°C, tramite la [14] si ottiene:

$$I_{\vartheta_{in}} = \pm\left(0,15 + 0,002 \cdot \vartheta\right) = \pm 0,33\,°C$$
$$I_{\vartheta_{out}} = \pm\left(0,15 + 0,002 \cdot \vartheta\right) = \pm 0,27\,°C$$
$$i_{\Delta\vartheta} = \sqrt{\frac{I_{\vartheta_{in}}^{\;2} + I_{\vartheta_{out}}^{\;2}}{\Delta\vartheta^2}} = \pm\sqrt{\frac{0,33^2 + 0,27^2}{30^2}} \cdot 100 = \pm 1,4\%$$
$$i_Q = \pm\sqrt{i_q^{\;2} + i_{\Delta\vartheta}^{\;2}} = \pm\sqrt{0,03^2 + 0,014^2} = \pm 0,033 = \pm 3,3\%$$

Tenendo anche conto dell'incertezza dovuta all'integrazione temporale e di moltiplicazione per il coefficiente volumico K_i, si comprende che l'incertezza totale di un Contatore di Calore, per una differenza di temperatura del fluido termovettore maggiore di 20°C, può essere compresa tra il 3÷4%. Questo valore risulta di conseguenza comparabile con il EMP definito dalla Direttiva MID per questa categoria di strumenti.

Per la realizzazione di una verifica metrico legale di un contatore di calore occorre quindi realizzare un impianto capace di realizzare l'intero processo metrologico descritto, ossia:

- flusso di fluido termovettore "*caldo*" a temperatura elevata (circa 80-90 °C), con un pozzetto per la misura per confronto della temperatura di mandata con una termoresistenza campione di riferimento;
- realizzazione di una utenza termica, o di un sistema adeguato di dispersione del calore (ad esempio per radiazione);
- flusso del fluido termovettore "*freddo*" e punto di inserzione del misuratore di portata del contatore di calore (su un tratto rettilineo adeguatamente sviluppato a monte e a valle del misuratore);
- pozzetto termometrico per la realizzazione del confronto tra la temperatura di ritorno misurata dal contatore in verifica con una termoresistenza campione di riferimento;
- misura della portata di riferimento, eventualmente per metodo gravimetrico o per confronto con un misuratore campione di portata.

La difficoltà di realizzazione di un impianto con le sopradescritte caratteristiche risiede nelle dimensioni dello stesso, dovendosi garantire per la verifica le condizioni in ingresso ed uscita stazionarie con flusso monodimensionale.

Le quantità di fluido termovettore per garantire le suddette condizioni risultano di conseguenza elevate e, altrettanto elevata è la portata della bilancia da utilizzarsi per il metodo gravimetrico per la misura della portata.

Le condizioni di riferimento possono essere garantite più semplicemente con un impianto di sola acqua "*fredda*", e con una coppia di bagni termostatati per la verifica dei misuratori della temperatura di mandata e di ritorno, con l'indubbio vantaggio di realizzare le condizioni stazionarie del flusso in maniera più semplice sul solo ramo "*freddo*", sul quale viene anche installato il misuratore di portata.

Nella Figura 6.6. che segue si riporta lo schema di un banco per la taratura di misuratori di portata di acqua in corso di caratterizzazione nell'ambito di una convenzione di ricerca con la Società IPL sas di Napoli.

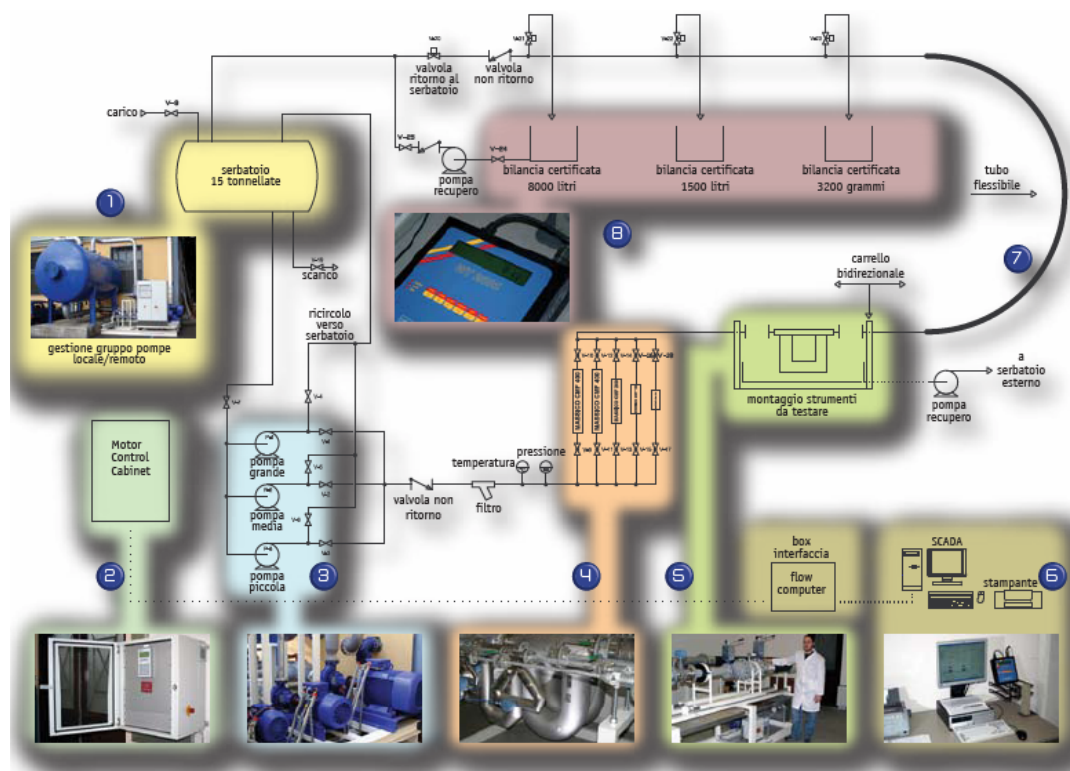



Figura 6.6. - Impianto di caratterizzazione per misuratori di portata. Società IPL Sas di Napoli

L'impianto in questione garantisce la riferibilità metrologica per metodo gravimetrico attraverso l'utilizzo di 5 misuratori massici tipo *Coriolis* e l'obiettivo

finale della convenzione di ricerca è il raggiungimento dell’accreditamento SIT per la taratura di misuratori di portata massica e volumetrica (attraverso sistemi riferibili per la misura della massa volumica).
Le potenziali prestazioni metrologiche dell’impianto (in corso di verifica e sperimentazione) sono dettagliate nella tabella che segue:

Grandezza	***Strumenti in taratura***	***Campo di misura***	***Incertezza relativa (*)***	***Note***
Portata	Trasduttori di portata in mezzo liquido	109 ÷ 1088 (kg/h) 1361 ÷ 13607 (kg/h) 4355 ÷ 43548 (kg/h) 27216 ÷ 272160 (kg/h) 272160 ÷ 544320 (kg/h)	0,5 %	

(*) *Le incertezze di misura sono espresse come due volte lo scarto tipo (corrispondente, nel caso di distribuzione normale, ad un livello di confidenza di circa il 95%)*

Tabella 6.3 – Convenzione di Ricerca con la Società IPL sas di Napoli. Tabella delle prestazioni metrologiche dell’impianto per la taratura di misuratori di portata di liquidi in corso di sperimentazione e verifica.

L’utilizzo del metodo gravimetrico potrà consentire anche il raggiungimento di livelli di incertezza più bassi di quelli indicati in tabella (fino anche allo 0,2-0,3%).
Nelle condizioni di riferimento sopra descritte si riesce pertanto ad operare con sistemi che potenzialmente garantiscono le seguenti prestazioni in termini di incertezza:

- incertezza sulla temperatura di mandata, circa ± 0,15 °C
- incertezza sulla temperatura di ritorno, circa ± 0,15 °C
- incertezza sulla misura di portata (metodo gravimetrico), circa ± 0,5%

Il bilancio di incertezza complessiva sulla misura del calore, se si esclude il contributo di incertezza della centralina di elaborazione (determinazione di K_i e del tempo di integrazione) diviene quindi pari a:

$$I_{\vartheta_{in}} = \pm 0,15\,°C$$

$$I_{\vartheta_{out}} = \pm 0,15\,°C$$

$$i_{\Delta\vartheta} = \sqrt{\frac{I_{\vartheta_{in}}{}^2 + I_{\vartheta_{out}}{}^2}{\Delta\vartheta^2}} = \pm\sqrt{\frac{0,15^2 + 0,15^2}{30^2}} \cdot 100 = \pm 0,7\%$$

$$i_Q = \pm\sqrt{i_q{}^2 + i_{\Delta\vartheta}{}^2} = \pm\sqrt{0,005^2 + 0,007^2} = \pm 0,033 = \pm 0,8\%$$

Di conseguenza risulta rispettata la condizione di cui al rif. OIML R75-2:2002 par. 6.3., in cui si richiede di effettuare la verifica con un sistema di prova capace di garantire un incertezza estesa, calcolata secondo la norma ENV 13005, con un fattore di copertura k=2, corrispondente ad un intervallo di confidenza di circa il 95%, pari al massimo ad 1/5 del EMP, che per questa categoria di strumenti, come detto, può essere assunto variabile tra il 3ed il 5%.

Capitolo 8

L’allegato MI-005: Sistemi di misura per la misurazione continua e dinamica di quantità di liquidi diversi dall'acqua

I misuratori volumetrici rappresentano storicamente una delle categorie più utilizzate nelle misure legali di liquidi diversi dall’acqua e, per questo motivo, sono oggetto di una diffusa standardizzazione nazionale ed internazionale [43, 44, 45, 46, 47, 48].
La verifica periodica di carattere metrico legale dei contatori di volume per carburanti è generalmente più complessa della taratura in laboratorio a causa della necessità di operare direttamente in campo senza talvolta poter disconnettere lo strumento dalla rete. Tutto ciò rende spesso difficile garantire un'incertezza inferiore ai limiti di tolleranza prescritti dalla normativa [1].
In questo capitolo sono descritte:

- le principali metodologie di taratura e verifica (*gravimetrica* e *volumetrica per confronto*) dei serbatoi campione di volume utilizzati sul campo per il controllo legale dei misuratori volumetrici di liquidi diversi dall’acqua, particolarmente diffusi nel campo della contabilizzazione dei volumi nelle transazioni commerciali e nell’accertamento fiscale dei prodotti petroliferi;
- la metodologia (*volumetrica per confronto*) per la verifica periodica dei misuratori di volume installati sugli erogatori di carburante.

La verifica dei misuratori di carburanti

La normativa nazionale vigente prima della MID prevedeva che tutti i misuratori di carburante usati nelle transazioni commerciali fossero soggetti a due tipi di verificazioni: la verifica prima (in fabbrica e/o sul campo), da effettuarsi prima dell'immissione sul mercato, e la verifica periodica, da effettuarsi successivamente alla messa in servizio per accertare il mantenimento nel tempo delle caratteristiche metrologiche.

La Direttiva MID stabilisce le regole per la sola verifica prima (esame del tipo).

La verificazione prima risulta essere un atto obbligatorio per gli strumenti nuovi da effettuarsi, prima della loro vendita o messa in uso in commercio. Le operazioni ad essa connesse si considerano completate e formalizzate con l'apposizione dei bolli metrici (un primo bollo a stemma riportante il numero dell'ufficio verificatore ed un secondo contenente il numero identificativo dell'ispettore verificatore che ha eseguito l'operazione).

In Italia, l'obbligo di verificare e di legalizzare gli strumenti è stato introdotto con il *Testo Unico delle leggi sui pesi e sulle misure* [46], integrato successivamente nel 1902 dal *Regolamento per la Fabbricazione dei Pesi e delle Misure per Pesare e per Misurare* [47] e solo negli ultimi 30 anni., modificato dalle Direttive Europee recepite mediante appositi D.P.R. La legge *236/91,* che modifica il *Testo Unico*, prevede la possibilità per i Fabbricanti Metrici di verificare e legalizzare i propri strumenti in maniera autonoma. Questa possibilità si è concretamente realizzata con 1'emanazione del DL 179/2000 [14], che disciplina la verifica prima degli strumenti direttamente a cura e responsabilità del fabbricante, secondo i principi di garanzia della qualità della produzione e secondo la procedura di conformità metrologica.

Relativamente alla verifica periodica, la Direttiva MID come noto lascia agli Stati Membri la facoltà di provvedere ai controlli finalizzati ad accertare il mantenimento nel tempo delle caratteristiche metrologiche e, inoltre, di fissare criteri e periodicità degli interventi per l'esecuzione di tali verifiche.

In alcuni Stati Europei tali accertamenti vengono effettuati con periodicità non prefissata, per altri vengono fissate di anno in anno le categorie di utenti i cui strumenti saranno sottoposti a verifica. In Italia la verificazione periodica è stata modificata ed integrata con il *DL* 182/2000 [15]. Quest'ultimo decreto ha apportato innovazioni sostanziali rispetto alla normativa precedente, stabilendo una periodicità biennale di verifica per i complessi di misura per carburante. Un ulteriore elemento innovativo riguarda la possibilità. di delegare con condizioni e modalità prestabilite, la verificazione periodica a laboratori accreditati dalle Camere di Commercio ed operanti in conformità alla ISO 17025 [11]. Tale delega costituisce sicuramente un'importante novità nel campo della metrologia legale in Italia, in quanto i controlli sugli strumenti in servizio sono sempre stati di esclusiva competenza degli Uffici Metrici Provinciali delle Camere di Commercio.
Gli EMP in verifica periodica, sono uguali a quelli previsti in verifica prima a differenza di quanto accade per le altre tipologie di strumenti dove viene generalmente fissato un EMP pari al doppio di quello previsto in verifica prima.

I requisiti MID per i Misuratori di Carburante

Il fabbricante deve specificare le condizioni di funzionamento nominale dello strumento, in particolare:

- deve rispettare la condizione sul rapporto tra Q_{max} e Q_{min} 10:1 per gas non liquefatti e 5:1 per gas liquefatti;
- deve indicare le proprietà del liquido che lo strumento deve misurare precisando il nome o il tipo del liquido o le sue caratteristiche peculiari, vale a dire: i) intervallo di temperature, ii) intervallo di pressioni, iii) intervallo di densità, iv) intervallo di viscosità.

In tabella 7.1 sono riportati gli errori massimi permessi (all. MI-005) per la verificazione dei misuratori di liquidi diversi dall' acqua per volumi non inferiori a due litri. Gli errori massimi permessi (EMP) in Italia e nell'Unione Europea per gli

strumenti di misura dei carburanti (sono in classe 0,5 – rif. Tabella 5 allegato MI-005 MID, *Messa in Servizio*) sono dello 0.3% V.L. per quanto riguarda il misuratore, e dello 0.5% V.L per quanto riguarda l'intero sistema di misura.

	Classi di precisione				
	0,3	0,5	1	1,5	2,5
Sistemi di Misurazione (A)	0,30%	0,50%	1,00%	1,50%	2,50%
Misuratori (B)	0,20%	0,30%	0,60%	1,00%	1,50%

Tabella 7.1- Errori massimi tollerati nella verificazione dei misuratori di liquidi diversi dall' acqua per volumi non inferiori a due litri

Tuttavia, indipendentemente dalla quantità misurata, l'errore massimo permesso è pari al maggiore dei seguenti due valori:

- il valore assoluto dell'errore massimo permesso riportato nella tabella 7.1;
- il valore assoluto dell'errore massimo permesso per la quantità minima misurata (E_{min}).

Per le quantità minime misurate superiori od eguali a due litri, si applicano ambo le condizioni seguenti:

- E_{min} deve soddisfare la condizione: $E_{min} \geq 2\ R$, dove R è il più piccolo intervallo di scala del dispositivo indicatore.
- E_{min} è dato dalla formula: E_{min}=(2MMQ)×(A/100), dove MMQ è la quantità minima misurata e A è il valore numerico specificato nella riga A della tabella 7.1.

In caso di conversione delle indicazioni gli errori massimi tollerati sono quelli riportati alla riga A della tabella 7.1.

Per quanto riguarda i disturbi, l'effetto di un'interferenza elettromagnetica in un sistema di misurazione deve rispettare una delle condizioni di seguito elencate:

- la variazione del risultato della misurazione non supera il valore di variazione critico;

- l'indicazione del risultato della misurazione mostra una variazione momentanea che non può essere interpretata, memorizzata o trasmessa come un risultato della misurazione; inoltre, nel caso di sistemi interrompibili, ciò può significare anche l'impossibilità di effettuare misurazioni;
- la variazione del risultato della misurazione è superiore al valore di variazione critico, nel qual caso il sistema di misurazione deve consentire di recuperare il risultato della misurazione immediatamente antecedente al verificarsi del valore di variazione critico e di interrompere il flusso.

Il valore di variazione critico equivale al maggiore tra 1/5 dell'EMT per una specifica quantità misurata, e E_{min}.

Il Fabbricante deve effettuare una una prova adeguata di *durabilità*, tenendo conto del periodo di tempo stimato, e deve risultare che la variazione del risultato della misurazione successiva alla prova di durabilità se raffrontata al risultato iniziale di misurazione non deve superare l'EMT per i misuratori nella riga B della tabella 7.1.

L'Accertamento di Conformità prevede, la scelta di una delle quattro opzioni:

- (B) Esame del tipo + (D) Garanzia qualità della produzione;
- (B) Esame del tipo + (F) Verifica su prodotto;
- (H1) Garanzia qualità totale con controllo della progettazione;
- (G) verifica di un unico prodotto.

Problematiche di taratura dei Misuratori di Carburante

Nella figura 7.1. che segue si riporta la tipica catena di riferibilità per un misuratore di carburante. La verifica dei suddetti strumenti viene effettuata per confronto con serbatoi campione di volume, con l'effettuazione di alcune misure ausiliarie (temperatura, massa/volume, pressione, umidità relativa), non sempre semplici e fattibili in sede di verifica, e con l'adozione di un'opportuna tecnica, in funzione delle finalità della verifica e del relativo livello di incertezza per essa richiesto.

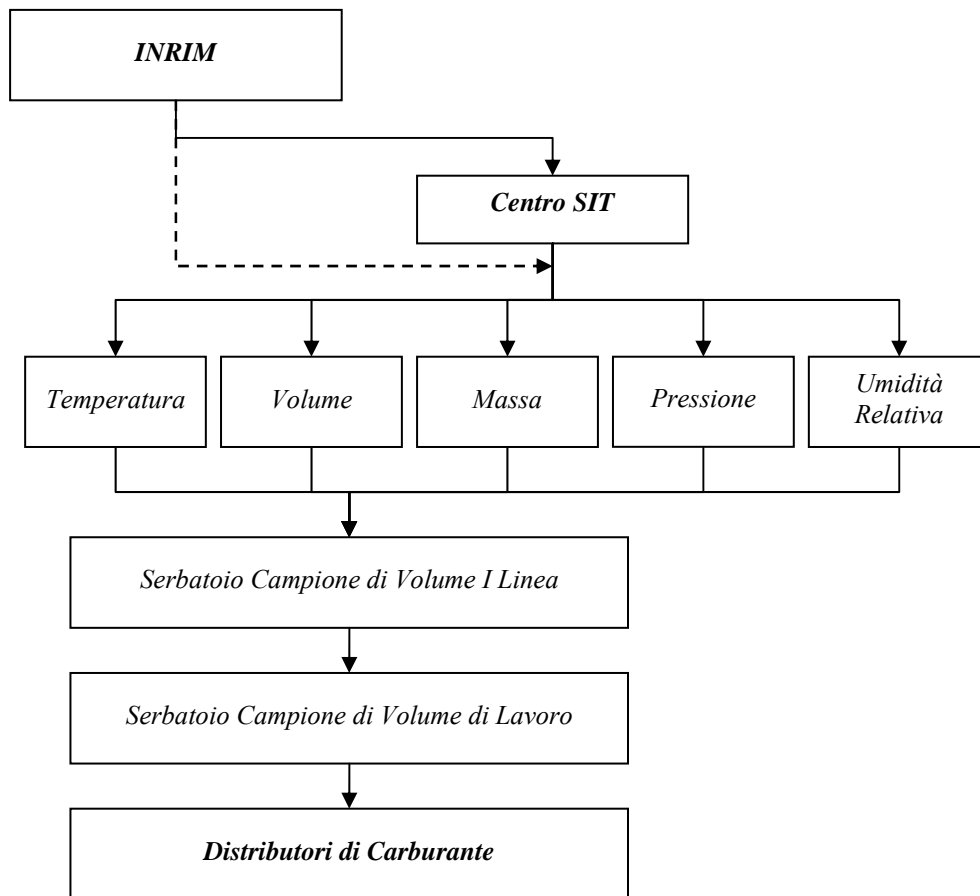



Figura 7.1. – Catena di riferibilità per i misuratori di carburante

La taratura di un serbatoio campione di volume (Figura 7.2.) [45], a sua volta, consiste sostanzialmente nel determinare il volume o la correzione al volume nominale della cavità interna del serbatoio nonché nel valutare l'incertezza associata al volume.

Figura 7.2. – Serbatoio campione di volume e relativa scala graduata di lettura

Affinché i dati ricavati dall'operazione di taratura abbiano la massima corrispondenza con l'utilizzo cui lo strumento è effettivamente destinato, la stessa taratura dovrebbe essere eseguita nelle effettive condizioni di esercizio, vale a dire entro il campo dei valori previsti di temperatura ed utilizzando lo stesso fluido di esercizio. Nella pratica, a causa della variabilità dei carburanti utilizzati e della complessità procedurale nella taratura con fluidi tossici e/o infiammabili, si utilizza acqua come fluido di prova.

Il massimo errore permesso per i misuratori di carburante in verifica risulta, come detto, inferiore allo 0,3%; di conseguenza la verificazione di tali strumenti può essere effettuata solo con campioni aventi un’ incertezza di misura non superiore ad 1/5 dell'EMP (pari a 0,3%), e quindi inferiori allo 0.06 % VL. Tali caratteristiche possono essere ottenute eseguendo la verifica con misure campione di capacità. La

legislazione nazionale relativamente alle misure campione di capacità prevede un EMP non superiore allo 0,04%VL contro l'errore previsto dalla OIML R120 non superiore allo 0,05%VL [43]. Un fattore vincolante, pertanto, è l'incertezza di misura associata alla taratura della misura campione di riferimento utilizzata.

In Italia, a meno di non riferirsi direttamente all'Istituto Primario INRIM di Torino, è possibile tarare serbatoi campione di volume da 1 e 5 L con un'incertezza (k=2) pari a ±0,12%, da 10 L con un'incertezza pari a ±0,06%, oltre 10 e fino a 2000 L con un'incertezza pari a ±0,03% e oltre 2000 e fino a 25000 L con un'incertezza pari a ±0,035% [5].

Queste incertezze sono solo di poco inferiori all'errore massimo permesso, il che rende assolutamente critica la costruzione di una gerarchia di campioni interni, per l'inevitabile propagazione dell'incertezza dovuta alle operazioni di taratura e confronto. I metodi attualmente usati per la taratura dei serbatoi campione sono:

- metodo *geometrico*: per i grandi recipienti di forma regolare (e.g. gasometri) e si basa sulla misura geometrica delle dimensioni interne del recipiente;
- metodo *gravimetrico*, utilizzato in laboratorio per misure di piccole o medie capacità: si basa sulla misura gravimetrica della massa apparente di acqua pura (con densità nota) necessaria a riempire (svuotare) il serbatoio campione incognito fino a un livello di riferimento;
- metodo *volumetrico* (o comparativo): viene utilizzato per cisterne, serbatoi e capacità e si basa sul confronto del volume del recipiente in prova con quello dì una capacità campione precedentemente tarata: la misura viene effettuata travasando il volume di un fluido (generalmente acqua deionizzata) dal campione al serbatoio in prova, o viceversa.

Nel seguito si riporta una breve descrizione dei tre metodi sopra descritti.

Metodo gravimetrico

Il metodo gravimetrico consiste nella determinazione della massa del liquido di riempimento; a tale scopo è sufficiente utilizzare acqua per uso di laboratorio (tipo III o IV) con conducibilità non superiore a 10^{-4} *S/m,* libera da gas disciolti e metalli pesanti. La determinazione della massa avviene in aria e viene corretta tenendo conto sia della spinta archimedea sia degli effetti derivanti dalle variazioni della temperatura di riferimento. Le condizioni ambientali di riferimento sono:

- temperatura ambiente (20±2) °C;
- umidità relativa (50±10)% UR.

Si noti però che le condizioni di riferimento per la temperatura sono diverse per ciascun liquido di prova: in particolare per i prodotti petroliferi ed a base di alcool la temperatura di riferimento è fissata pari a 15°C [49].

In figura 7.3. si riporta un’immagine della stazione sperimentale di prova allestita e presso il laboratorio LAMI dell’Università di Cassino per la caratterizzazione e validazione del metodo gravimetrico.

Figura 7.3. – Configurazione sperimentale di prova metodo gravimetrico

La misura della massa in aria viene generalmente eseguita mediante il metodo della doppia sostituzione semplice [50, 52]., allo scopo di minimizzare gli effetti di non linearità e di deriva della bilancia elettronica utilizzata. Sono utilizzati allo scopo una serie adeguata di campioni di massa in classe F1 [51].

La misura della massa netta di acqua in aria (con la correzione dovuta alla spinta archimedea ed alle dilatazioni termiche) è data dall'equazione [49]:

$$\rho_w V_{T0}\left[1+\beta_T\left(t_T-t_0\right)\right]\cdot\left(1-\frac{\rho_a}{\rho_w}\right)=\left(m_F-m_E\right)\cdot\left(1-\frac{\rho_a}{\rho_m}\right)$$

Dove:

- $\beta_{T,}$ coefficiente di dilatazione cubica del serbatoio in taratura *[°C^{-1}]*;
- ρ_a, massa volumica dell'aria alla temperatura *t*, *[Kg/m^3]*;
- ρ_w : massa volumica dell'acqua, *[Kg/m^3]*;
- ρ_m : massa volumica dei campioni di massa utilizzati, *[Kg/m^3]*;
- m_{FC} : massa convenzionale serbatoio in prova pieno, *[Kg]*;
- m_{EC} : massa convenzionale relativa alla misura vuota, *[Kg]*;
- Δm: misura della massa netta convenzionale m_{FC} - m_{EC} , *[Kg]*;
- t_T : temperatura dell'acqua utilizzata come liquido di prova al momento della determinazione, *[°C]*;
- t_0 : temperatura di riferimento, *[°C]*;
- V_{T0}: volume della misura in prova alla temperatura di riferimento t_0, *[L]*.

Da cui tenendo conto della relazione intercorrente tra i valori di massa reale e convenzionale (ossia il corrispondente valore di una massa equivalente con massa volumica ρ_m = 8000 kg/m^3 alle condizioni di riferimento T=20°C e con ρ_a = 1,2 kg/m^3, massa volumica di riferimento dell'aria normale) si ha [49]:

$$\left(m_F-m_E\right)=\left(m_{FC}-m_{EC}\right)\left[\frac{\left(1-\frac{1{,}2}{8000}\right)}{1-\frac{1{,}2}{\rho_m}}\right]=0.99985\cdot\frac{\left(m_{FC}-m_{EC}\right)}{\left(1-\frac{1{,}2}{\rho_m}\right)}$$

Pertanto, combinando le equazioni si può determinare il volume V_{T0} come:

$$V_{T0} = \frac{0.99985}{\left(\rho_W - \rho_a\right)} \cdot \frac{\left(m_{FC} - m_{EC}\right)}{\left[1 + \beta_T\left(t_T - t_0\right)\right]} \cdot \frac{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_m}\right)}$$

L'equazione precedente, nel caso particolare $\rho_a = \rho_{as}$, si semplifica nella equazione:

$$V_{T0} = \frac{0.99985}{\rho_w - \rho_{aS}} \cdot \frac{\left(m_{FC} - m_{EC}\right)}{\left[1 + \beta_T\left(t_T - t_0\right)\right]}$$

Ai fini dello studio della propagazione dell'incertezza l'ultima equazione può essere approssimata nel modo seguente:

$$V_{T0} = 0.99985 \cdot \frac{\left(m_{FC} - m_{EC}\right)}{\left(\rho_w - \rho_a\right)}\left[1 - \frac{\rho_a - \rho_{aS}}{\rho_m} - \beta_T\left(t_T - t_0\right)\right]$$

che rappresenta la relazione funzionale utilizzata per la valutazione del volume del serbatoio campione.

Definita l'equazione della misura si passa alla stima dell'incertezza ad essa associata.

I contributi considerati sono:

- $u(\Delta m)$, incertezza sulla massa netta convenzionale;
- $u(\rho_w)$ $u(\rho_a)$ $u(\rho_m)$, incertezza sulla massa volumica dell'acqua, dell'aria e dei campioni di massa utilizzati;
- $u(\beta_T)$, incertezza sul coefficiente di dilatazione cubica del serbatoio;
- $u(t)$, incertezza sulla misura di temperatura;
- incertezza sulla procedura utilizzata (questo contributo si può ritenere trascurabile nel caso di una buona pratica di laboratorio);

Nel seguito si riportano i risultati della sperimentazione del metodo gravimetrico effettuata presso il Laboratorio LAMI dell'Università di Cassino.

Riepilogo

Numero del Bollettino:	01
Cliente:	LAMI
Sede di:	Università di Cassino
Richiesta:	000/06
in data	21/03/06
Data della taratura:	07/04/06
Data di elaborazione:	14/04/06
Metodo di Taratura (gravimetrico/volumetrico):	GRAVIMETRICO
Presso il Laboratorio	Pa.L.Mer
Indirizzo del Laboratorio	Via Casilina Nord, Km 68 Ferentino(Fr)
Esecutore della Taratura:	Mattia del Mastro

Condizioni Ambientali

Temperatura all'inizio delle prove	20	°C
Pressione atmosferica	10100	Pa
umidità relativa dell'aria	45	%

Serbatoio in Taratura

Denominazione:	Serbatoio Campione 20 litri					
Capacità nominale	20	L	*EMP:*	10	mL	
Costruttore:	Gibertini					
Modello:	20 litri					
N° matricola:	47008					
Codice Interno:	LAMI/001/vol					
Classe di Precisione:	0,5					
incertezza certificato taratura	0,024	L				
estensione della scala di misura	71,4	mm	*con risoluzione*	2	mm	*CONFORME*
graduazioni della scala	da	19,84	a	20,16	L	*CONFORME*
passo della graduazione della scala	0,0025	L				*CONFORME*
materiale di costruzione	acciaio dolce					
Coefficiente di dilatazione termica β_T	0,0000336	1/°C				
temperatura di riferimento	15	°C				
incertezza di lettura relativa ad una capacità di discriminazione pari a 1 mm della scala trattata come distribuzione rettangolare	**0,002588**	*L*				

Tabella 7.2. – Metodo Gravimetrico: Bollettino di Taratura del Serbatoio Campione

Termometro utilizzato

tipo	digitale			
costruttore	DELTA OHM			
modello	HD8901			
matricola	070996B036			
scala	da	-20	a	150 °C
risoluzione	0,1	°C		
certificato di taratura		del		
incertezza estesa di tartura	0,1	°C		
incertezza del termometro da considerare nella propagazione				
u	0,05	°C^2		

Bilancia utilizzata

tipo	elettronica			
Classe di precisione	II			
costruttore	Mettler Toledo			
modello	Mettler ID5			
matricola	1999059			
scala	da	0	a	65000 g
risoluzione	0,001	Kg		
certificato di taratura		del		
incertezza relativa di tartura	3,80E-06	% da 1Kg a 19,99Kg		
	9,20E-07	% da 20 Kg a 60 Kg		

Campioni di massa utilizzati equivalenti al serbatoio vuoto

	Valore nominale [g]	*Valore effettivo [g]*	*U [%]*	*U[g]*	*Classe*	*matricola*	*Certificato*	*del*
	50	50,000098	9,20E-07	4,60E-07				
	200	200,0002	6,50E-07	1,30E-06				
	200	200,0002	6,50E-07	1,30E-06				
	500	500,001	5,40E-07	2,70E-06				
	5000	5000,002	9,20E-07	4,60E-05				
	5	5,000023	3,80E-06	1,90E-07				
	1	1,000004	1,10E-05	1,10E-07				
				0,00E+00				
Valori complessivi	5,956	5,956004	Kg					
	incertezza della massa campione da considerare nella propagazione in [g]							
	u	2,31E-08	Kg					

Campioni di massa utilizzati equivalenti al serbatoio pieno

	20000	19999,96	1,7E-06	3,40E-04				
	200	200,0002	6,50E-07	1,30E-06				
	200	200,0002	6,50E-07	1,30E-06				
	500	500,001	5,40E-07	2,70E-06				
	5	5,000023	3,80E-06	1,90E-07				
	5000	5000,002	9,20E-07	4,60E-05				
				0,00E+00				
Valori complessivi	25,905	25,90497	Kg					
	incertezza della massa campione da considerare nella propagazione in [g]							
	u	1,72E-07	Kg					

Tabella 7.3. – Metodo Gravimetrico: Strumentazione Utilizzata

Dati Sperimentali ed Elaborazioni

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	valori medi	
Temperatura ambiente	°C	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20,00	°C
Pressione atmosferica	Pa	101300	101100	101100	101100	101100	101100	101100	101100	101100	101100	101100	101100	101116,67	Pa
umidità relativa dell'aria	%	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45,00	%
densità aria	Kg/m^3	1,1996	1,1972	1,1972	1,1972	1,1972	1,1972	1,1972	1,1972	1,1972	1,1972	1,1972	1,1972	1,197	Kg/m^3
lettura massa tara	Kg	5,956	5,956	5,956	5,956	5,956	5,956	5,956	5,956	5,956	5,956	5,956	5,956		
coeff correttivo a		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000		
lettura massa lorda	Kg	25,905	25,895	25,895	25,895	25,895	25,895	25,895	25,895	25,895	25,895	25,895	25,895		
coeff correttivo b		1,0000	1,0004	1,0004	1,0004	1,0004	1,0004	1,0004	1,0004	1,0004	1,0004	1,0004	1,0004		
lettura m' campione vuoto	Kg	5,956	5,953	5,956	5,956	5,955	5,957	5,954	5,958	5,956	5,955	5,955	5,956		
lettura m'' campione pieno	Kg	25,904	25,896	25,895	25,892	25,893	25,896	25,891	25,894	25,895	25,893	25,891	25,889		
Temp. Misura in prova	°C	20	20,5	19,5	19,8	19,5	20,5	20	19,7	19,5	20,5	20,4	20,2	20,01	°C
densità H2O prova	Kg/m^3	998,2067	998,1022	998,3087	998,2478	998,3087	998,1022	998,2067	998,2682	998,3087	998,1022	998,1233	998,1652	998,2050	Kg/m^3
massa apparente H2O	g	19,9480	19,9530	19,9490	19,9460	19,9480	19,9490	19,9470	19,9460	19,9490	19,9480	19,9460	19,9430	19,9477	Kg
Volume	L	**20,0015**	**20,0083**	**20,0008**	**19,9988**	**19,9998**	**20,0043**	**20,0005**	**19,9985**	**20,0008**	**20,0033**	**20,0009**	**19,9972**	**20,0012**	L

$$V_{T0} = 0.99985 \cdot \frac{(m_{FC} - m_{EC})}{(\rho_w - \rho_a)}\left[1 - \frac{\rho_a - \rho_{aS}}{\rho_m} - \beta_T (t_T - t_0)\right]$$

Il valore effettivo da associare alla misura in prova è **20,001** L

La correzione da applicare sulle letture effettuate è **1,2** mL

L'incertezza dovuta alla procedura seguita u= **0,00296** L

L'incertezza quadratica da propagare u2= **0,00001** L

Tabella 7.4. – Metodo Gravimetrico: Dati Sperimentali ed Elaborazioni

L'incertezza di taratura è determinata conformemente al documento EA-4/02 [33, 34], secondo lo schema rappresentato nella tabella seguente:

Misurando			$y=f(x_1,x_2,\ldots,x_n)$
Incertezza tipo della misura	$u(x_i)$	Incertezza tipo associata alla grandezza d'ingresso *xi*	
	c_i	Coefficiente di sensibilità	$C_i=\frac{\partial f}{\partial x_i}$
	$u_i(y)$	Contributo all'incertezza tipo (composta) associata al risultato, dovuta all'incertezza tipo $u(xi)$della grandezza d'ingresso *xi*	$u_j(y) = c_j\, u(x_j)$
	$u(y)$	Incertezza tipo (composta) associata al risultato della misura	$u^2(y)=\sum_{i=1}^{N} u_i^2(y)$ $u(y)=\sqrt{\sum_{i=1}^{N} u_i^2(y)}$
Incertezza estesa della misura	$U(y)$ k	Incertezza estesa della misura Fattore di copertura	$U(y) = k\, u(y)$ k

Tabella 7.5 – Procedimento per la Stima dell'incertezza

Nell'analisi del bilancio di incertezza del misurando si assume che non esista correlazione tra le grandezze d'ingresso. L'incertezza estesa della misura $U(y) = k\, u(y)$ è stimata con un fattore di copertura k=2, corrispondente ad un intervallo di confidenza di circa il 95 %.

Nella tabella che segue si riporta la descrizione analitica dei coefficienti di sensibilità (ricavabili per derivazione dall'equazione della misura) e l'elaborazione puntuale della stima dell'incertezza di misura per il metodo gravimetrico.

x_i	$c_i = \partial V_{T0} / \partial x_i$	c_i (*valori approssimati*)
Δm	$\frac{0.99985}{(\rho_w - \rho_a)}\left[1 - \frac{\rho_a - \rho_{aS}}{\rho_m} - \beta_T (t_T - t_0)\right]$	$\frac{I}{\rho_w - \rho_{as}}$
ρ_w	$-0.99985 \cdot \frac{(m_{FC} - m_{EC})}{(\rho_w - \rho_a)^2}\left[1 - \frac{\rho_a - \rho_{aS}}{\rho_m} - \beta_T (t_T - t_0)\right]$	$-\frac{(m_{FC} - m_{EC})}{(\rho_w - \rho_a)^2}$
ρ_a	$0.99985 \cdot \frac{(m_{FC} - m_{EC})}{(\rho_w - \rho_a)^2}\left[1 - \frac{\rho_a - \rho_{aS}}{\rho_m} - \beta_T (t_T - t_0)\right]$	$\frac{(m_{FC} - m_{EC})}{(\rho_w - \rho_a)^2}$
β_T	$-0.99985 \cdot \frac{(m_{FC} - m_{EC})}{(\rho_w - \rho_a)}(t_T - t_0)$	$-\frac{(m_{FC} - m_{EC})}{(\rho_w - \rho_a)}(t_T - t_0)$
t_T	$-0.99985 \cdot \beta_\tau \frac{(m_{FC} - m_{EC})}{(\rho_w - \rho_a)}$	$-\beta_\tau \frac{(m_{FC} - m_{EC})}{(\rho_w - \rho_a)}$
ρ_m	$0.99985 \cdot \frac{(m_{FC} - m_{EC})}{(\rho_w - \rho_a)}\left[\frac{\rho_a - \rho_{aS}}{\rho^2{}_m}\right]$	$\cong 0$

Grandezza (x_i)	**Coefficiente di sensibilità ci**	**u**		**c_iu_i**	**$c_i^2u_i^2$**
Δm *H2O*	0,00100	4,17E-07	Kg	4,18E-10	1,75E-19
ρ_w	-2,00677E-05	4,20E-02	Kg/m^3	-8,43E-07	7,10E-13
ρ_a	2,00677E-05	4,80E-03	Kg/m^3	9,63E-08	9,28E-15
β_T	-0,100204655	1,94E-06	1/°C	-1,94E-07	3,78E-14
t_T	-6,72255E-07	5,00E-02	°C	-3,36E-08	1,13E-15
Incertezza di lettura della scala	1	2,59E+00	mL	2,59E+00	6,70E+00
Incertezza di tipo A	1	2,96E+00	mL	2,96E+00	8,73E+00
Incertezza composta				mL	3,92797
Incertezza estesa				mL	**7,85593**
Incertezza relativa					**0,04%**

Tabella 7.6. – Metodo Gravimetrico: Coefficienti di sensibilità e stima dell'incertezza

Metodo "volumetrico fine"

Il metodo volumetrico consiste essenzialmente nel trasferimento di un volume noto di liquido di prova (tipicamente acqua deionizzata) da una misura campione ad una da tarare (o viceversa). Si può distinguere:

- metodo *volumetrico fine* in laboratorio, che presuppone lo svolgimento delle attività di taratura in ambiente chiuso (climatizzato), e l'utilizzo di tabelle [53] o relazioni per la determinazione della densità dell'acqua o di altri fluidi in funzione della temperatura
- metodo *volumetrico ordinario* direttamente sul campo per i campioni in uso su grandi impianti e prevede l'utilizzo di valori medi sia del coefficiente di dilatazione dei materiali utilizzati che della densità del liquido di prova.

Ai fini della valutazione dell'incertezza di taratura connessa al metodo comparativo, si prenderà in esame il caso del metodo "*volumetrico comparativo fine*".

L'ipotesi fondamentale è che la massa di liquido trasferita al serbatoio in taratura da tarare, m_T, sia uguale alla somma delle masse di liquido contenute nel campione di riferimento, m_c, a meno di altre trascurabili sostanze disciolte, m_i, ossia:

$$m_T + m_i = \sum m_{Ci} + m_i$$

La differenza tra la temperatura di prova t e quella t_0 alla quale il serbatoio campione è stato tarato determina una correzione del volume del serbatoio in taratura V_{T0} e di quello campione V_{C0} oltre che della massa volumica ρ_w dell' acqua.

Si può scrivere:

$$m_T = \rho_{wT} V_{T0}\left[1 + \beta_T\left(t_T - t_0\right)\right] = \sum m_{Ci} = \sum \rho_{wi} V_{C0}\left[1 + \beta_C\left(t_{Ci} - t_0\right)\right]$$

Dove:

- β_T, β_C, coefficiente di dilatazione cubica del serbatoio in taratura e di quello campione [°C^{-1}];
- ρ_w, massa volumica dell'acqua [Kg/m^3];
- m_T, massa di liquido trasferita al serbatoio misurando [Kg];
- m_C, massa di liquido nel serbatoio campione di riferimento [Kg];

- t_T, temperatura dell'acqua utilizzata come liquido di prova al momento della determinazione [°C];
- V_{C0}, volume del serbatoio campione alla temperatura di riferimento t_0 (metodo comparativo) [L].

Trascurando le variazioni temporali di temperatura e quindi della densità dell'acqua di riempimento del campione ($\sum_i \Delta\rho_{Ci} = 0$), si può assumere, trascurando gli infinitesimi di ordine superiore, che:

$$\rho_{wT} V_{T0}\left[1+\beta_T\left(t_T - t_0\right)\right] = V_{C0}\overline{\rho}_{wT}\sum_i\left[1+\beta_C\left(t_{Ci}-t_0\right)\right] =$$
$$= NV_{C0}\overline{\rho}_{wC}\frac{\left[N+\sum_i \beta_C\left(t_{Ci}-t_0\right)\right]}{N} = NV_{C0}\overline{\rho}_{wC}\left[1+\beta_C\left(\overline{t}_C - t_0\right)\right]$$

dove si è indicato con $\overline{t}_C = \frac{\sum_i t_{Ci}}{N}$, e con N il numero di travasi necessari che scaturisce dal rapporto tra la capacità nominale del serbatoio in taratura e la capacità nominale del serbatoio campione. Sviluppando l'equazione precedente si può quindi scrivere:

$$\rho_{wT} V_{T0}\left[1+\beta_T\left(t_T - t_0\right)\right] = NV_{C0}\overline{\rho}_{wC}\left[1+\beta_C\left(\overline{t}_C - t_0\right)\right]$$

da cui possiamo ricavare il valore del Volume del serbatoio in taratura, V_{T0}, alla temperatura di riferimento t_0:

$$V_{T0} = NV_{C0}\frac{\overline{\rho}_{wc}\left[1+\beta_C\left(\overline{t_C} - t_0\right)\right]}{\rho_{wT}\left[1+\beta_T\left(t_T - t_0\right)\right]}$$

Dove:

- β_T, β_C, sono i coefficienti di dilatazione termica del serbatoio in taratura e di quello campione;
- $\overline{\rho}_{wc}$ è la massa volumica media dell'acqua nel campione;
- ρ_{wT} : massa volumica dell'acqua alla temperatura della prova;
- N: numero di travasi; rapporto tra il volume nominale del serbatoio in prova ed il volume nominale del serbatoio campione;
- t_T: temperatura dell'acqua utilizzata come liquido di prova al momento della determinazione;

- $\overline{t_C}$: temperatura media dell'acqua nel serbatoio campione utilizzato;
- V_{C0} : volume del serbatoio campione alla temperatura di riferimento t_0 (metodo comparativo).

L'errore della misura del serbatoio misurando è quindi [49]:

$$E = V_{TL} - V_{T0} = V_{TL} - NV_{C0} \frac{\overline{\rho}_{wc} \left[1 + \beta_C \left(\overline{t_C} - t_0\right)\right]}{\rho_{wT} \left[1 + \beta_T \left(t_T - t_0\right)\right]}$$

dove con V_{TL} si è indicato il volume letto sulla scala graduata del serbatoio misurando.

Ai fini della valutazione dell'incertezza associata alla determinazione dell'errore *E,* sviluppando in serie di Taylor e trascurando i termini di ordine superiore al primo (nell'ipotesi che $\beta_C\left(\overline{t}_C - t_0\right) << 1$ e $\beta_T(t_T - t_0) << 1$), si può scrivere:

$$E \cong V_{TL} - NV_{C0} \frac{\overline{\rho}_{wc}}{\rho_{wT}} \left[1 + \beta_C \left(\overline{t_C} - t_0\right) - \beta_\tau \left(t_T - t_0\right)\right]$$

Per eliminare le correlazioni tra le diverse temperature misurate, nonché tra i coefficienti di dilatazione termica, è possibile utilizzare le variabili $\delta t = t_T - \overline{t_C} = \left(t_T - t_0\right) - \left(\overline{t_C} - t_0\right)$ e $\delta\beta = \beta_\tau - \beta_C$:

$$E = V_{TL} - NV_{C0} \frac{\overline{\rho}_{wc}}{\rho_{wT}} \left[1 - \beta_C \delta t - \delta\beta \, \left(t_T - t_0\right)\right]$$

La equazione precedente è la relazione funzionale utilizzata per la valutazione dell'errore nel caso di una taratura per comparazione fine.

Per la stima dell'incertezza associata alla misura si considerano i contributi di:

- *$u(V_{TL})$,* incertezza di lettura che dipende dalla gradazione della scala;
- *$u(V_{C0})$,* incertezza di taratura del campione;
- *$u(\rho_T)$, $u(\overline{\rho_C})$* incertezza sulla massa volumica dell'acqua;
- *$u(\delta\beta)$, $u(\beta_C)$* incertezza sui coefficienti di dilatazione cubica dei serbatoi campione e misurando;
- $u(\delta t)$, *$u(t_T)$,* incertezza sulle misure di temperatura
- incertezza sulla procedura (trascurabile nel caso di una buona pratica di laboratorio).

Di seguito si riportano i risultati della sperimentazione effettuata presso il Laboratorio LAMI dell'Università di Cassino.

Riepilogo

Numero del Bollettino:	01
Cliente:	LAMI
Sede di:	Università di Cassino
Richiesta:	000/06
in data	21/03/06
Data della taratura:	07/04/06
Data di elaborazione:	14/04/06
Metodo di Taratura	volumetrico
Presso il Laboratorio	Pa.L.Mer
Indirizzo del Laboratorio	Via Casilina Nord, Km 68 Ferentino(Fr)
Esecutore della Taratura:	Mattia del Mastro

Condizioni Ambientali

Temperatura all'inizio delle prove	20	°C
Pressione atmosferica	10100	Pa
umidità relativa dell'aria	45	%

Serbatoio in Taratura

Denominazione:	Serbatoio Campione 20 litri					
Capacità nominale	20	L	*EMP:*	10	mL	
Costruttore:	Gibertini					
Modello:	20 litri					
N° matricola:						
Codice Interno:						
Classe di Precisione:	0,5					
estensione della scala di misura	71,4	mm				*CONFORME*
graduazioni della scala	da	19,84	a	20,16	L	*CONFORME*
passo della graduazione della scala	0,0025	L				*CONFORME*
materiale di costruzione	acciaio dolce					
Coefficiente di dilatazione termica β_T	0,0000336	°C				
temperatura di riferimento	15	°C				
incertezza di lettura relativa ad una capacità di discriminazione pari a 1 mm della scala trattata come distribuzione rettangolare	0,002588	*L*				

Tabella 7.7. – Metodo Volumetrico Fine: Bollettino di Taratura

Serbatoio Campione Utilizzato

Denominazione:					
Capacità nominale	20	L			
Travasi necessari (Vi/Vrif)	1				
Costruttore:	Gibertini				
Modello:	20 litri				
N° matricola:	47008				
Codice Interno:	LAMI/001/vol				
Classe di Precisione:	0,5				
Cert. di Taratura / Centro SIT:		in data			
capacità effettiva del campione V_{CO}	20,001	L			
incertezza estesa del campione $U_{(VCO)}$	0,00805	L			
estensione della scala di misura	71,4	mm			
graduazioni della scala	da	19,84	a	20,16	L
passo della graduazione della scala	0,005	L			
materiale di costruzione	acciaio dolce				
coefficiente di dilatazione cubica β_C	0,0000336	°C			
temperatura di riferimento	15	°C			
incertezza di lettura relativa ad una capacità di discriminazione pari a 1 mm della scala trattata come distribuzione rettangolare	0,002588	L			
incertezza d'uso del campione da considerare per la propagazione	0,004784988	L			

Termometro

tipo	digitale				
costruttore	DELTA OHM				
modello	HD8901				
matricola	070996B036				
scala	da	-20	a	150	°C
risoluzione	0,2	°C			
certificato di taratura		del			
incertezza estesa di tartura	0,15	°C			
incertezza del termometro	0,08	°C			

Tabella 7.8. – Metodo Volumetrico Fine: Apparecchiature Utilizzate

Dati Sperimentali

			1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	
			t campione	*t campione*	*t campione*	*t campione*	*t campione*	*t campione*	*t campione*	*t campione*	*t campione*	*t campione*	*t campione*	*t campione*	*valori medi*
Travasi effettuati	1	°C	20	20,5	19,5	19,8	19,5	20,5	20	19,7	19,5	20,5	20,4	20,2	
	2	°C													
	3	°C													
	4	°C													
	5	°C													
	6	°C													
	7	°C													
t_{medio}		°C	20	20,5	19,5	19,8	19,5	20,5	20	19,7	19,5	20,5	20,4	20,2	18,47
densità H_2O campione		Kg/m^3	998,207	998,102	998,309	998,248	998,309	998,102	998,207	998,268	998,309	998,102	998,123	998,165	998,510
lettura misura in prova		L	20,002	20,003	20,004	20,002	20,003	19,995	19,999	20,003	20,008	19,998	19,998	19,999	
Temp. Misura in prova		°C	20	20,5	19,5	19,8	19,5	20,5	20	19,7	19,5	20,5	20,4	20,2	20,01
densità H_2O prova		Kg/m^3	998,2067	998,102	998,309	998,248	998,309	998,102	998,207	998,268	998,309	998,102	998,123	998,165	998,205
errore		L	**0,001**	**0,002**	**0,003**	**0,001**	**0,002**	**-0,006**	**-0,002**	**0,002**	**0,007**	**-0,003**	**-0,003**	**-0,002**	

$$E = V_{TL} - V_{To} \cong V_{TL} - NV_{C0} \frac{\overline{\rho_{wC}}}{\rho_{wT}} \left(1 + \beta_C \delta t - \delta\beta \left(t_T - t_0\right)\right)$$

L'errore medio da associare alla misura in prova è	0,00017	L
Il valore da associare alla misura in prova è	19,99983	L
La correzione da applicare sulle letture effettuate è	-0,17	mL
Incertezza tipo A	0,00101	L

Tabella 7.9. – Metodo Volumetrico Fine: Dati Sperimentali ed Elaborazioni

Nelle tabella 7.10. e 7.11. sono riportati i coefficienti di sensibilità c_i associati alla generica grandezza x_i e le relative stime dei contributi di incertezza, ottenuti applicando la legge di propagazione delle incertezze [33, 34].

x_i	$c_i = \partial V_{T0} / \partial x_i$
V_{TL}	1
V_0	$-N \frac{\overline{\rho_{wc}}}{\rho_{wT}} \left[1 - \beta_C \delta t - \delta\beta \left(t_T - t_0\right)\right] \cong -N$
$\overline{\rho_{wC}}$	$-\frac{NV_{C0}}{\rho_{wT}} \left[1 - \beta_C \delta t - \delta\beta \left(t_T - t_0\right)\right] \cong -\frac{NV_{C0}}{\rho_{wC}}$
ρ_{wT}	$-NV_{C0} \frac{\overline{\rho_{wc}}}{\rho_{wT}} \left[1 - \beta_C \delta t - \delta\beta \left(t_T - t_0\right)\right] \cong \frac{NV_{C0}}{\rho_{wT}}$
β_C	$NV_{C0} \frac{\overline{\rho_{wc}}}{\rho_{wT}} \delta t \cong NV_{C0} \delta t$
t_T	$NV_{C0} \frac{\overline{\rho_{wc}}}{\rho_{wT}} \delta\beta \cong NV_{C0} \delta\beta$
δt	$NV_{C0} \frac{\overline{\rho_{wc}}}{\rho_{wT}} \beta_C \cong NV_{C0} \beta_C$
$\delta\beta$	$NV_{C0} \frac{\overline{\rho_{wc}}}{\rho_{wT}} \left(t_T - t_0\right) \cong NV_{C0} \left(t_T - t_0\right)$
$\overline{\alpha}$	-----

Tabella 7.10 - Coefficienti di sensibilità nella stima dell'incertezza del metodo volumetrico fine

Grandezza (x_i)	Coefficiente di sensibilità ci		u		c_iu_i	$c_i^2u_i^2$
V_{TL}	1	1	0,00258756	L	0,00258756	0,00258756
V_{CO}	$-N\frac{\rho_{wC}}{\rho_{wT}}\left(1+\beta_C\delta t-\delta\beta(t_T-t_0)\right)\cong -N$	-1	0,00478499	L	-0,00478499	-0,00478499
ρ_{wC}	$-NV_{C0}\frac{1}{\rho_{wT}}\left(1+\beta_C\delta t-\delta\beta(t_T-t_0)\right)\cong -\frac{NV_{C0}}{\rho_{wC}}$	-0,02003084	0,042	Kg/m^3	-0,0008413	-3,3756E-07
ρ_{wT}	$-NV_{C0}\frac{\rho_{wC}}{\rho^2_{wT}}\left(1+\beta_C\delta t-\delta\beta(t_T-t_0)\right)\cong \frac{NV_{C0}}{\rho_{wT}}$	-0,02003697	0,042	Kg/m^3	-0,00084155	-3,3787E-07
β_C	$NV_{C0}\frac{\rho_{wC}}{\rho_{wT}}\delta t\cong NV_{C0}\delta t$	-30,7835904	1,9399E-06	1/°C	-5,9717E-05	-0,05658958
$\delta\beta$	$NV_{C0}\frac{\rho_{wC}}{\rho_{wT}}\cong(t_T-t_0)\cong NV_{C0}(t_T-t_0)$	100,171675	2,7434E-06	1/°C	0,00027481	2,75758213
δt	$NV_{C0}\frac{\rho_{wC}}{\rho_{wT}}\beta_C\cong NV_{C0}\beta_C$	6,72E-04	0,11	°C	7,128E-05	3,2192E-11
t_T	$NV_{C0}\frac{\rho_{wC}}{\rho_{wT}}\delta\beta\cong NV_{C0}\delta\beta$	0,00E+00	0,08	°C	0	0
	incertezza di tipo A riscontrata durante le prove	1	0,00100629		0,00100629	0,00100629
u	Incertezza composta				mL	1643,107
U	L'incertezza estesa da associare alla misura in prova				mL	3286,214
	Incertezza relativa					16,43%

Tabella 7.11. – Metodo Volumetrico Fine: Stima dell'Incertezza

Metodo comparativo ordinario

Il metodo per trasferimento di volumi viene utilizzato per la verificazione di grandi capacità inserite in impianti di prova utilizzando come campione di riferimento una misura riferibile con valore nominale dalle 5 alle 10 volte minore.

L'errore E è dato dall'equazione:

$$E = V_{TL}\cdot\left[1+\beta_T(t_T-t_0)\right]\cdot\left[1+\overline{\alpha}(t_0-t_T)\right]-\sum_i V_{C0}\left[1+\beta_C(t_i-t_0)\right]\cdot\left[1+\overline{\alpha}(t_0-t_i)\right]$$

in cui sì indicato con $\overline{\alpha}$ il coefficiente di dilatazione cubica medio dell'acqua. Si può semplificare sviluppando i prodotti e trascurando gli infinitesimi di ordine superiore:

$$E = (V_{TL}-NV_{C0})+N\cdot V_{C0}\cdot\left[(\beta_T-\overline{\alpha})(t_T-t_0)-(\beta_C-\overline{\alpha})(\overline{t_C}-t_0)\right]$$

Anche in questo caso è possibile considerare come non correlate le differenze di temperatura utilizzando $\delta t = t_T - \overline{t_C} = (t_T - t_0) - (\overline{t_C} - t_0)$ e $\delta\beta = \beta_T \beta_C$; di qui sostituendo si ricava l'equazione semplificata della misura:

$$E = (V_{TL} - NV_{C0}) + N \cdot V_{C0} \cdot \left[(t_T - t_0)\delta\beta + (\beta_C - \overline{\alpha})\delta t\right]$$

Per la stima dell'incertezza associata alla misura si considerano i contributi di:

- $u(V_{TL})$, incertezza di lettura che dipende dalla gradazione della scala;
- $u(V_{C0})$, incertezza di taratura del campione;
- $u(\delta\beta)$, $u(\beta_C)$ incertezza sui coefficienti di dilatazione cubica dei serbatoi campione e misurando;
- $u(\delta t)$, $u(t_T)$, incertezza sulle misure di temperatura;
- $u(a)$, incertezza sul coefficiente di dilatazione cubica dell'acqua.

Applicando la legge di propagazione delle incertezze [33, 34], i coefficienti di peso c_i associati alla generica grandezza x_i nella (2.17), sono riportati nella tab. 7.12.

x_i	$c_i = \partial V_{T0} / \partial x_i$
V_{TL}	1
V_0	$-N\left[1 - (t_T - t_0)\delta\beta - (\beta_C - \overline{\alpha})\delta t\right]$
β_C	$NV_{C0}\delta t$
t_T	$NV_{C0}\delta\beta$
δt	$NV_{C0}(\beta_C - \overline{\alpha})$
$\delta\beta$	$NV_{C0}(t_T - t_0)$
$\overline{\alpha}$	$NV_{C0}\delta t$

Tabella 7.12 - Coefficienti di sensibilità nella stima dell'incertezza del metodo volumetrico ordinario

La verifica dei misuratori di volume per carburante

I misuratori di volume installati sui distributori stradali di carburante sono generalmente muniti di una pompa di aspirazione del prodotto; in alcuni casi tale dispositivo è assente, in quanto nel sistema è presente una pompa sommersa inserita nel serbatoio, che alimenta il circuito idraulico degli erogatori ad esso collegati.
L'elemento preposto alla misurazione del carburante è quindi il misuratore di tipo volumetrico (vedi Figura 7.4) composto da una o più camere misuratrici, che può essere munito di un dispositivo meccanico per la calibrazione. L'organo misuratore è essenzialmente un motore idraulico mosso dal carburante, che viene fornito sotto pressione dalla pompa. Il suo fine è quello di comandare il dispositivo indicatore, in modo tale da ottenere una corrispondenza tra l'indicazione della testata indicatrice e il volume erogato.

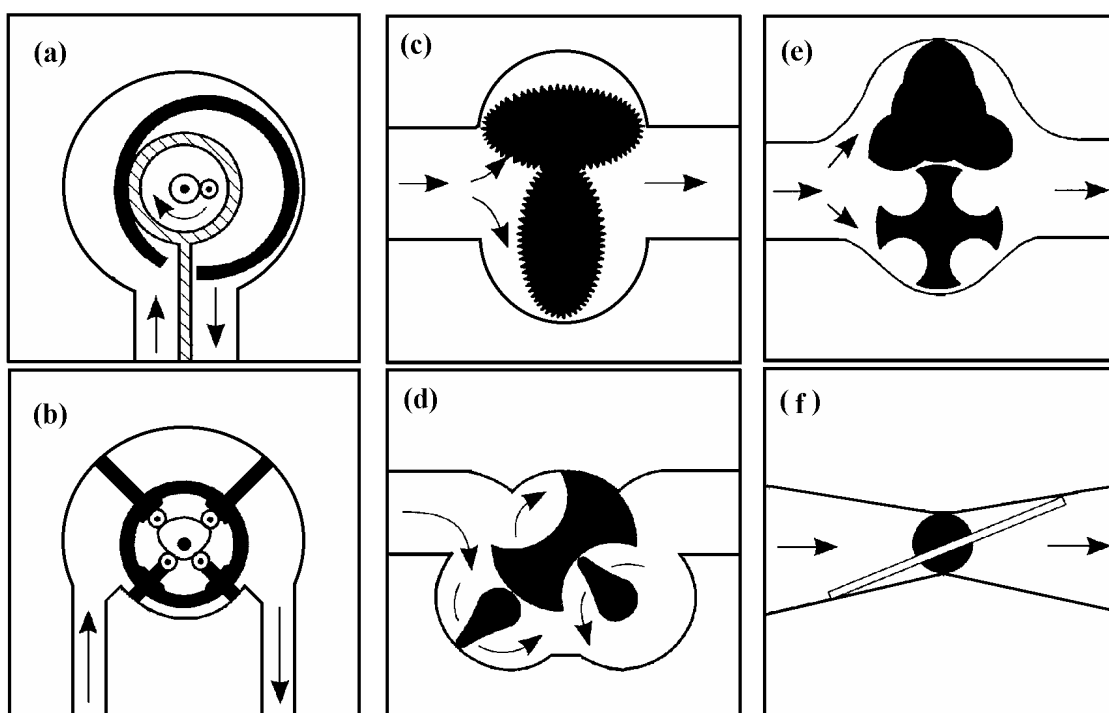



Figura 7.4 – Elementi di misura più diffusi per contatori di liquidi diversi dall'acqua: a) ad anello rotante, b) a lamelle striscianti, c) a lobi (ruote ovali), d) a tri-rotore, e) a bi-rotore, f) a disco nutante.

Nei complessi di misurazione muniti di testata di tipo meccanico, la trasmissione del dato di misura avviene tramite un alberino di trasmissione. Per quelli muniti di testata elettronica la trasmissione avviene tramite un generatore di impulsi (o pulser) collegato al misuratore, da cui sono trasmessi meccanicamente i dati che vengono poi trasformati in impulsi di tipo elettromagnetico, successivamente inviati alla CPU della testata contometrica, che elabora gli impulsi e li trasforma in indicazione volumetrica.

I complessi di misurazione più recenti sono muniti di dispositivi elettronici di taratura/calibrazione. Essi consentono di correggere elettronicamente i misuratori, evitando di agire meccanicamente sugli stessi. La correzione elettronica viene effettuata introducendo un coefficiente di taratura, cioè il valore in centilitri da attribuire ad ogni impulso generato (questa operazione non ha fini metrico-legali).

La verifica metrico legale di un misuratore di volume per carburanti consiste sostanzialmente nell’accertare, con serbatoi campione “*a collo stretto*” descritti precedentemente e tarati con garanzia della riferibilità ai campioni nazionali, che i volumi indicati dalla testata corrispondano, entro i limiti del massimo errore permesso (tabella 7.1) al volume effettivamente erogato.

Il metodo normalmente utilizzato per la verifica dei contatori di volume per carburanti è il metodo volumetrico ordinario, con l’utilizzo dello stesso prodotto erogato come liquido di prova (figura 7.5.).

L’errore del misuratore volumetrico in verifica è dato da $E= V_m(t) - V_p(t),$ dove :

- V_m: indicazione testata;
- t_m: temperatura del carburante erogato;
- t_0: temperatura di riferimento;
- V_p: lettura del serbatoio campione;
- t_p: temperatura del serbatoio campione;

Figura 7.5. – Procedura di verifica su un impianto di distribuzione carburante

Per la legge dell'espansione dei materiali, il volume della misura campione riferito alla tamperatura di riferimento t_p è pari a $V_p(t_p) = V_p\ [1 + \beta\ (t_p\text{-}t_0)]$, dove con β si indica il coefficiente di espansione dei materiali. Il volume letto risulta quindi dato da $V_p(t) = V_p(t_p)\ [1+\alpha\ \ (t_m\ \text{-}t_p)]$, dove con α è il coefficiente di dilatazione del liquido misurato (per la benzina pari a è circa 0,00121 °C^{-1} e per il gasolio 0,0008 °C^{-1}). Sostituendo si ricava $V_p(t_m) = V_p(t_p)\ [1 + \beta\ (t_p\text{-}t_0) +\alpha\ \ (t_m\text{-}t_p)]$ e, infine, l'errore del misuratore, con la equazione della misura:

$$E(t) = V_m(t_m) - V_p(t_p)\ \ [1 + \beta\ (t_p\text{-}t_0) +\alpha\ \ (t_0\text{-}t_p)]$$

Per la stima dell'incertezza di misura si considerano i seguenti contributi:

- $u(V_p)$, incertezza sul campione di riferimento
- $u(\beta)$ e $u(\alpha)$, incertezza sui coefficienti di dilatazione cubica del serbatoio campione e del liquido erogato, rispettivamente;
- $u(t_m)$, $u(t_p)$ incertezza sulle misure di temperatura;

Di seguito si riportano i risultati di una sperimentazione effettuata dal Laboratorio LAMI dell'Università di Cassino su un impianto di distribuzione carburante.

Riepilogo

Numero del Bollettino:	01
Cliente:	LAMI
Sede di:	Università di Cassino
Indirizzo della ditta	000/06
Richiesta:	21/03/06
in data	07/04/06
Data della verifica:	14/04/06
Metodo di Taratura (gravimetrico/volumetrico):	volumetrico
Presso la ditta	Pa.L.Mer
Indirizzo della ditta	Via Casilina Nord, Km 68 Ferentino(Fr)
Esecutore della verifica:	Mattia del Mastro

Misuratore di volume

Marca	
Tipo(meccanico/elettronico)	elettronico
modello	
Ragione sociale del fabbricante	
N° Matricola	
portata Max	
omologato con	
Anno di Fabbricazione	
incertezza estesa da certificato	0,12%
Prodotto misurando	benzina
coefficiente α [1/°C]	0,00121

Serbatoio Campione Utilizzato

Denominazione:				
Capacità nominale	20	L		
Costruttore:				
Modello:				
N° matricola:				
Codice Interno:				
Classe di Precisione:				
Cert. di Taratura / Centro SIT:		in data		
capacità effettiva del campione V_{CO}	19,9998	L		
incertezza estesa del campione $U_{(VCO)}$	0,00113	L		
estensione della scala di misura	71,4	mm		
graduazioni della scala	da L	19,84	a	20,16
passo della graduazione della scala	0,005	L		
materiale di costruzione	acciaio dolce			
coefficiente di dilatazione cubica β_C	0,0000336	1/°C		
incertezza di lettura relativa ad una capacità di discriminazione pari a 1 mm della scala trattata come distribuzione rettangolare	0,002588	L		
incertezza d'uso del campione da considerare per la propagazione	0,00264853	L		
temperatura di riferimento	15	°C		

Termometro

tipo	in vetro			
costruttore				
modello				
matricola				
scala	da	-20	a	102
risoluzione	0,2	°C		
certificato di taratura		del		
incertezza estesa di tartura	0,15	°C		
incertezza del termometro	0,0946	°C		

Tabella 7.13 - Verifica Misuratore di carburante: Bollettino di Taratura

Raccolta Dati

Prove effettuate		**# 1**	**# 2**	**Dati medi**
Lettura alla misura campione L_C	L	20,005	20,006	20,0055
Temp carburante nel campione t_C	°C	20	20,2	20,1
Lettura testata L_t	L	20	20	20
Temp carburante in cisterna t		18	18	18
Vol compensato del campione V_C	L	19,96	19,96	19,96
errore	L	0,04	0,04	
Esito della Verifica del Volume Erogato		**Conforme**	**Conforme**	
Lettura iniziale totalizzatore	L	123456769	123456789	
Lettura finale totalizzatore	L	123456789	123456809	
Esito della Verifica dell'Erogazione		**Conforme**	**Conforme**	

L'incertezza dovuta alla procedura seguita u=	0,001855	L
L'incertezza quadratica da propagare u^2=	0,000003	L

Tabella 7.14 - Verifica Misuratore di carburante: Dati Sperimentali ed Elaborazioni

Applicando la legge di propagazione delle incertezze [33, 34] i coefficienti di sensibilità c_i associati alla generica grandezza x_i sono riportati nella Tabella 7.15.

x_i	$c_i = \delta E_{T0} / \delta x_i$
V_p	$-1-\beta(t_p - t_0) - \alpha(t_t - t_p)$
β	$-V_p(t_p - t_0)$
α	$-V_p(t_T - tp)$
t_m	$-\alpha V_m t_m$
t_p	$\alpha V_p - \beta V_p$

Tabella 7.15 - Coefficienti di sensibilità nella stima dell'incertezza per la verifica di contatori di volume per carburanti, metodo volumetrico ordinario

Nella successiva tabella 7.16 si riporta la stima puntuale delle incertezze per la verifica di un misuratore di carburante installato su un distributore.

Grandezza (x_i)	**Coefficiente di sensibilità ci**		**u**		**c_iu_i**	**$c_i^2u_i^2$**
Lt	1	1	0,012	L	0,012	0,000144
L_C	$-1-\beta(t_c-t_0)-\alpha(t_t-t_C)]$	-0,997630	0,00264853	L	-0,002642254	6,98151E-06
β	$-V_c(t_c-t_0)$	-101,786280	1,9399E-06	1/°C	-0,000197455	3,89884E-08
α	$-V_C(t_T-t_C)$	-41,911998	6,9859E-05	1/°C	-0,002927946	8,57287E-06
t	$-\alpha L_T$	-0,024207	0,04732424	°C	-0,001145561	1,31231E-06
tc	$\alpha L_C - \beta L_C$	0,02353447	0,04732424	°C	0,001113751	1,24044E-06
	incertezza di tipo A	1	0,00185463		0,001854632	3,43966E-06
u	Incertezza composta				mL	12,86801373
U	Incertezza estesa				mL	25,73602746
	Incertezza relativa					0,13%

Tabella 7.16 - Verifica Misuratore di carburante: Stima delle Incertezze

Nella tabella che segue si riporta il riepilogo delle prove effettuate, con indicazione dei livelli di incertezza stimati con i metodi descritti.

Grandezza	***Strumento in taratura / verifica***	***Campo di misura***	***Metodo***	***Incertezze***
Volume	Serbatoio campione di volume	20 L	Gravimetrico	0,04%
Volume	Serbatoio campione di volume	20 L	Volumetrico fine	0,06%
Volume	Misuratori di carburante volumetrici	20 L	Volumetrico ordinario	0,13%

Tabella 7.18 - Campi di misura e incertezze di taratura per i metodi gravimetrico, volumetrico fine ed ordinario

I valori in tabella relativi ai serbatoi campione di volume sono stati ottenuti in laboratorio climatizzato e con l'applicazione di procedure rigorose e da parte di personale molto qualificato (il laboratorio Palmer è accreditato SIT [5] con il n.85 nel settore della massa, il LAMI è accreditato SIT [5] per pressione, temperatura di rugiada ed umidità). Essi rappresentano quindi un livello di elevata qualità della misura e non facilmente riproducibile in altre realtà (es. laboratori riconosciuti secondo il DL 182/2000 [15]). Si può notare che con il *metodo volumetrico fine* sui serbatoi campione di volume si raggiunge un'incertezza compatibile solo sul campione da 20 L. Infatti il valore riscontrato 0,06% risulta essere proprio pari ad 1/5 del EMP in verifica per i misuratori di carburante (0,3%).
Questo rapporto può essere migliorato utilizzando campioni di volume di taglia più grande, in modo da abbassare il livello di incertezza percentuale propria del serbatoio campione a livelli di maggiore sicurezza.

Capitolo 8

MI-007: Tassametri

L'allegato MI-007 della MID definisce i requisiti cui debbono conformarsi i tassametri ai fini della loro commercializzazione e/o messa in servizio.

Figura 8.1. –Tassametro

In vista dell'attuazione della Direttiva è già stata proposta [53] una procedura di prova finalizzata alla verifica separata dei due strumenti di base costituenti un tassametro: il cronometro e l'odometro.

Nel presente capitolo verrà illustrata una procedura concepita in sintonia con il "*nuovo approccio*" introdotto dalla MID, finalizzata, alla verifica metrologica del tassametro nel suo complesso, oltre che dei suoi singoli componenti. In particolare verrà illustrata la metodologia di prova per l'analisi di conformità agli errori massimi ammissibili per la misura [54]:

- del tempo trascorso;
- dello spazio percorso;
- del prezzo della corsa;
- del comportamento sotto l'effetto di alcune delle grandezze di influenza.

I Requisiti della MID

I principali parametri di funzionamento di un tassametro sono [53, 54, 55]:

- Modalità di tariffazione:
  - modo di calcolo normale S (applicazione singola della tariffa)
    Calcolo del prezzo della corsa basato sull'applicazione della tariffa in base alla durata al di sotto della velocità di cambio tariffa e sull'applicazione della tariffa in base alla distanza al di sopra della velocità di cambio tariffa.
  - modo di calcolo normale D (applicazione doppia della tariffa)
    Calcolo del prezzo della corsa basato sull'applicazione simultanea della tariffa in base alla durata e della tariffa in base alla distanza per tutto il percorso.
- Valore monetario dello scatto V_{scatto} (€)
- Costo iniziale C_i (€)
- Costante di costo del tempo k_t (s/scatti)
- Costante di costo dello spazio k_s (m/scatti)
- Costante del generatore del segnale odometrico K (impulsi/km).

Il valore della velocità di cambio tariffa è dato dal rapporto fra la costante di costo dello spazio e la costante di costo del tempo. Per tutelare gli interessi del cliente, del tassista, del datore di lavoro e delle autorità fiscali (in questo caso i Comuni), i parametri di funzionamento dello strumento sono modificabili solo da installatori autorizzati mediante l'accesso a memorie protette da opportune chiavi hardware.

La classe di ambiente meccanico applicabile è la M3.

La classe elettromagnetica applicabile è la E3.

Gli errori massimi tollerati debbono essere rispettati anche in presenza di un'interferenza elettromagnetica. Il fabbricante deve specificare le condizioni di funzionamento nominali dello strumento, e in particolare:

- un intervallo minimo di temperatura di 80 °C per l'ambiente climatico,

- i limiti dell'alimentazione in corrente continua per cui lo strumento è stato progettato.

Gli errori massimi tollerati, esclusi gli errori dovuti all'applicazione del tassametro in un taxi, sono i seguenti:

- per il tempo trascorso: ± 0,1 %, valore minimo dell'EMT 0,2s;
- per la distanza percorsa: ± 0,2 %, valore minimo dell'EMT 4 m;
- per il calcolo del prezzo della corsa: ± 0,1 %, valore minimo, compreso l'arrotondamento: corrispondente alla cifra meno significativa del prezzo della corsa indicato.

Infine la Direttiva impone che al fine di evitare malintesi, lo strumento durante il viaggio visualizzi il solo costo istantaneo della corsa e, al più, i minuti trascorsi. Informazioni più dettagliate possono essere visualizzate o stampate in un secondo momento.

L’Accertamento di Conformità prevede, la scelta di una delle tre opzioni:

- (B) Esame del tipo + (D) Garanzia qualità della produzione
- (B) Esame del tipo + (F) Verifica su prodotto
- (H1) Garanzia qualità totale con controllo della progettazione

In tutti i casi, quindi, gli Organismi Notificati ed i Fabbricanti devono essere in grado di valutare attraverso prove di laboratorio l’aderenza del prodotto alle specifiche richieste dalla Direttiva in termini di errori massimi ammissibili e di insensibilità alle grandezze di influenza.

La Verifica del Tassametro

Per verificare quindi la conformità di un tassametro occorre disporre di uno strumento di riferimento sul quale sia possibile impostare tutti i parametri descritti in precedenza ai valori dell’apparecchio sotto test. Tale strumento di riferimento è stato realizzato in forma “virtuale” mediante l’uso di un Personal Computer sul quale sono

installate due schede *Counter/Timer* della *National Instruments* gestite in ambiente *MS Visual Basic.net* mediante le librerie *N.I. Measurement Studio*.
La prima delle due schede genera due segnali di tipo TTL: il primo a frequenza costante, il secondo a frequenza variabile secondo leggi preimpostate. La seconda scheda conta il tempo, attraverso la lettura del segnale a frequenza costante, e lo spazio attraverso la lettura del segnale a frequenza variabile. Infine un opportuno codice di calcolo computa il costo e aggiorna il monitor del tassametro virtuale. Lo strumento realizzato rappresenta soltanto un prototipo di strumento campione, non essendo, allo stato, il personal computer e il suo sistema operativo inseribili in una Catena di Riferibilità.

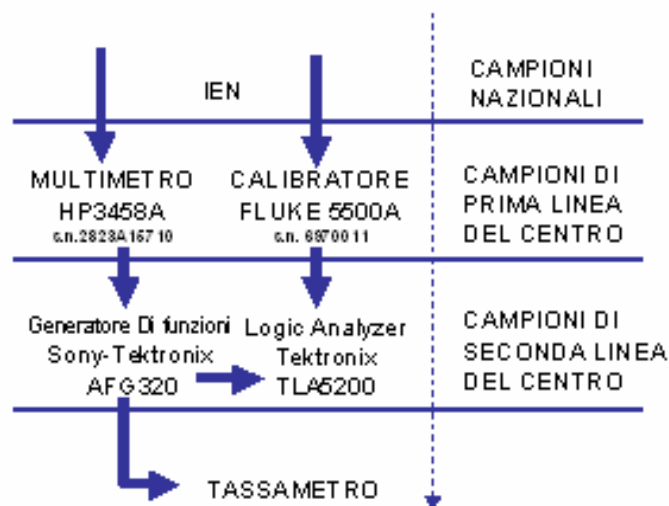



Figura 8.2. – Catena di Riferibilità per un Tassametro (stazione di verifica in allestimento presso il laboratorio LAMI dell'Università di Cassino)

Il generatore di funzione consente la realizzazione di un "*viaggio tipo*" inviato in ingresso al tassametro e all'analizzatore di stati logici per la registrazione. Il confronto fra il costo esibito e quello atteso è realizzato off-line in corrispondenza di opportuni istanti di tempo.

Le prove sono condotte riprendendo con una telecamera il display del tassametro e il monitor del computer e confrontando i valori monetari esibiti a intervalli di tempo prefissati. La procedura prevede prove mirate a caratterizzare lo strumento con riferimento alla bontà della misura del tempo, dello spazio e del funzionamento complessivo durante una corsa tipo.
Tutte le prove sono eseguite sia in condizioni di funzionamento normale che in condizioni perturbate. In particolare per quanto riguarda l’alimentazione elettrica le prove oltre che al valore normale di 12 V sono ripetute anche a 9 e 16 V. Per quanto riguarda l’ambiente meccanico le prove oltre che in condizioni statiche, vengono ripetute anche dopo aver montato lo strumento su di uno shaker che impone una vibrazione sinusoidale a frequenza costante lungo le tre direzioni principali.
Tutte le prove consistono nell’avviare simultaneamente il tassametro e lo strumento di riferimento e nel filmare in opportuni istanti di tempo il costo esibito dai due strumenti. A tal fine lo strumento virtuale esibisce anche i valori istantanei di tempo e di spazio. La simultaneità dell’avvio è ottenuta mediante un dispositivo di trigger per lo strumento virtuale asservito al segnale in tensione che esce dal tassametro in prova e che è destinato all’illuminazione della luce di testa del taxi. Tale segnale non appena il tassametro passa in modalità “*occupato*” passa dal suo valore tipico di 12 V a un valore più basso, minore di 8 V, per spegnere la luce.
Di seguito sono descritte le prove effettuate durante la campagna di sperimentazione presso L’Università di Napoli Federico II, nell’ambito del progetto PRIN 2004 *Metodologie di attuazione della Direttiva MID sugli Strumenti di Misura*.
1. Prova Tempo: in questo tipo di prova, nessun segnale odometrico viene inviato ai due strumenti pertanto entrambi aggiornano il costo in base al solo tempo trascorso.

$$C(t) = C_i + \mathrm{int}(t / k_t) V_{scatto}$$

A intervalli di tempo regolari lo scarto fra i valori esibiti dai due strumenti viene confrontato con quello massimo ammesso dalla MID:

$$\Delta C_{\max}(t) = \pm \mathrm{int}\left[\max\left(0.2, \frac{1}{1000} t \right) \frac{1}{k_t} \right] V_{scatto}$$

<u>2. *Prova Spazio*</u>*:* questa prova viene eseguita generando mediante una delle schede Counter/Timer un segnale a frequenza costante e inviandolo ai due tassametri. La prova viene ripetuta adottando tre diversi valori di frequenza, tutti superiori al doppio di quella corrispondente alla velocità di cambio tariffa, di modo che entrambi gli strumenti aggiornino il costo in base al solo spazio percorso:

$$C(s) = C_i + \mathrm{int}(S / k_s)V_{scatto}, \quad S = \frac{N_{impulsi}}{K}1000$$

A intervalli di spazio regolari lo scarto fra i valori esibiti dai due strumenti viene confrontato con quello massimo ammesso dalla Direttiva:

$$\Delta C_{\max}(s) = \pm \mathrm{int}\left[\max\left(4, \frac{2}{1000}s\right)\frac{1}{k_s}\right]V_{scatto}$$

<u>3. *Prova Viaggio*</u>: questa prova consiste nell'inviare ai due tassametri una prefissata sequenza temporale di frequenze in modo da simulare una corsa caratterizzata da periodi di sosta e rapidi transitori di velocità. E' stata assunta come sequenza delle frequenze quella desunta applicando la costante odometrica al "*ciclo urbano*" di velocità adottato dalle case automobilistiche per la stima dei consumi.

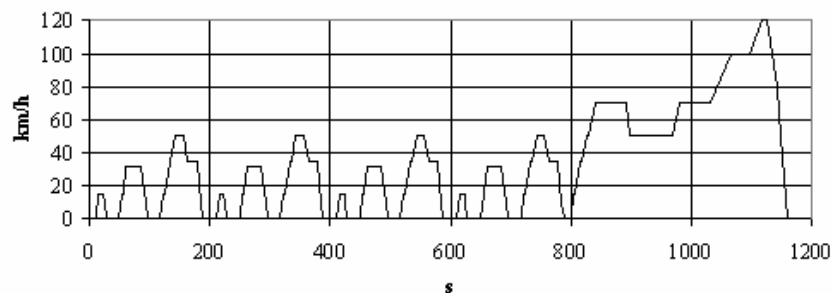



Figura 8.3. - Il ciclo utilizzato per la prova "*viaggio*"

La prova viene ripetuta in entrambe le modalità di tariffazione previste dalla Direttiva. Ad intervalli di costo regolari lo scarto fra i valori esibiti dai due strumenti viene confrontato con quello massimo ammesso dalla Direttiva:

$$\Delta C_{\max}(t,s) = \pm \max\left\{ V_{scatto}, \mathrm{int}\left[C(t,s)\frac{1}{1000} \right] \right\}$$

La Sperimentazione Effettuata

Si riportano a titolo di esempio i risultati relativi alle prove descritte, condotte in condizioni di funzionamento nominale (12 V, assenza di vibrazioni). La tabella 8.1. riassume i valori impostati sullo strumento in prova, essi sono stati scelti in maniera tale da aumentare la risoluzione dello strumento conservando, tuttavia, un valore realistico della velocità di cambio tariffa che, nel caso in esame, è di 4 m/s (14.4 km/h).

Vscatto	0.01 €
Ci	0.00 €
kt (s/scatti)	1 s
ks (m/scatti)	4 m
K (impulsi/km)	4000
Modalità di tariffazione	“singola”

Tabella 8.1. - Valori delle costanti del Tassametro

Naturalmente, lo strumento virtuale realizzato rappresenta solo un prototipo di campione di riferimento; dalla analisi dei risultati (Figure 8.4, 8.5, 8.6) che seguono è possibile trarre alcune interessanti conclusioni.

Il caso particolare riportato evidenzia il ruolo della prova “*viaggio*”; infatti, lo strumento sottoposto a verifica:

1. non è conforme con i requisiti della Direttiva MID per la misura “*spazio*” se non per percorrenze superiori ai 4 km (Figura 8.4);

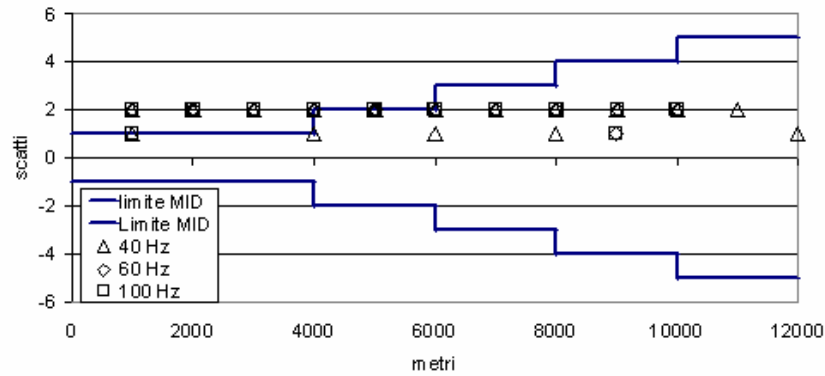



Figura 8.4. – Risultati della Prova “*Spazio*”

2. è conforme per la misura “*tempo*” accusando, nei primi minuti un lieve ritardo iniziale e poi un anticipo (Figura 8.5);

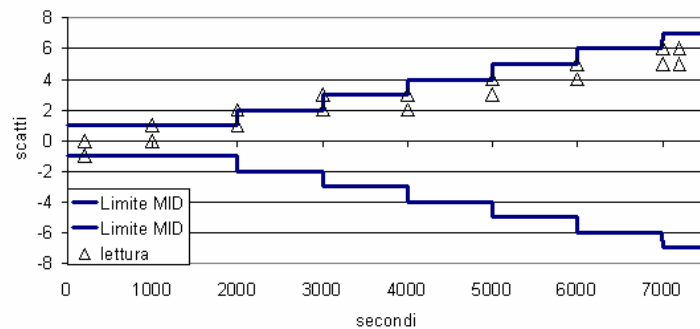



Figura 8.5. – Risultati della Prova “*Tempo*”

3. la prova “*viaggio*”, della durata di appena 20 minuti a fronte delle due ore della prova “*tempo*” e dei circa 50 minuti per la prova “*spazio*”, fornisce un risultato di non conformità rispetto ai requisiti MID (Figura 8.6);

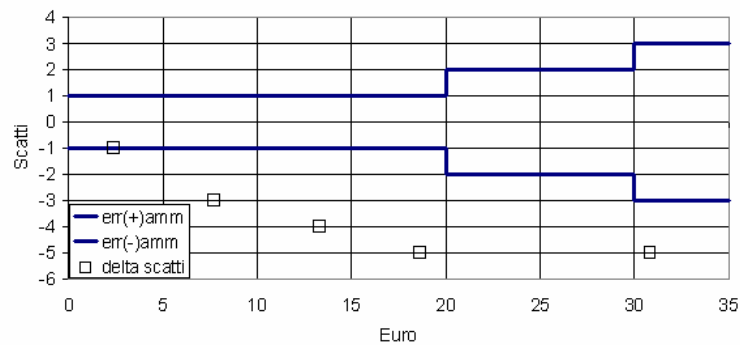



Figura 8.6. – Risultati della Prova "*Viaggio*"

La metodologia proposta, e in particolare la prova "*viaggio*", presenta due importanti pregi:

- concorda con lo spirito della Direttiva MID che non entra nel dettaglio tecnico costruttivo degli strumenti, ma piuttosto impone vincoli precisi in termini di prestazioni globali (requisiti essenziali);
- consente la verifica di conformità in tempi più contenuti rispetto alle prove tradizionali.

Lo sviluppo di una più ampia campagna sperimentale, da condurre su diversi strumenti e con diversi valori dei parametri di funzionamento, permetterà la stima puntuale dell'incertezza di misura e del rischio per lo strumento di operare fuori specifica, attraverso l'impiego di opportuni codici di calcolo.

9. Conclusioni

La Direttiva MID sugli Strumenti di Misura, approvata dal Consiglio di Europa nel marzo del 2004 e definitivamente recepita in Italia nello scorso mese di marzo, ha profondamente modificato il mondo della Metrologia Legale.
L'introduzione dei *requisiti essenziali* legati al tipo di misura piuttosto che ai singoli modelli di strumento offre oggi ai Fabbricanti del settore una reale spinta per l'innovazione dei prodotti e dei relativi processi produttivi.
Nelle categorie di strumenti analizzate nel presente lavoro di tesi sono state definite e approfondite le rispettive catene di riferibilità metrologica, descritte le principali procedure di verifica e taratura applicabili con le tecniche attualmente in uso e riscontrate alcune criticità per una corretta applicazione dei requisiti della Direttiva MID. Questi aspetti sono riassunti nella tabella 9.1. che segue.

Strumento	***Normative e raccomandazioni tecniche***	***Riferibilità Metrologica***	***Note / Criticità riscontrate***
MI-002 Contatori del gas	– normativa molto ben sviluppata ed in evoluzione; – buona integrazione e reciprocità EN/OIML; – non esiste guida Welmec di cross reference OIML/MID	– garantita a livello di IMP e Centri SIT / EA; – EMP in verifica MID congruenti ed adeguati	
MI-003 Contatori di energia elettrica attiva	– normativa CEI disponibile in maniera diffusa; – OIML R49 in revisione; – non esiste guida Welmec di cross reference OIML/MID	– garantita a livello di IMP; – non esistono Centri SIT / EA; – EMP in verifica MID congruenti ed adeguati	Misura delle componenti reattive. Aspetti relativi alla *power quality*
MI-004 Contatori di calore	– normativa molto ben sviluppata e di recente revisione; – ottima integrazione e reciprocità EN/OIML; – guida Welmec 8.14	– garantita solo in maniera indiretta (*volume* e *temperatura*); – incertezza di verifica al limite della congruenza con EMP in verifica MID	Impianti costosi per la verifica delle portate volumetriche e massiche

Strumento	***Normative e raccomandazioni tecniche***	***Riferibilità Metrologica***	***Note / Criticità riscontrate***
MI-005 Sistemi di misura per la misurazione continua e dinamica dei liquidi diversi dall'acqua (distributori di carburante)	– normativa molto diffusa e spesso poco congruente – in corso una razionalizzazione e semplificazione dei documenti applicabili (OIML); – guida Welmec 8.15	– garantita a livello di IMP e Centri SIT / EA; – incertezza di verifica al limite della congruenza con EMP in verifica MID	
MI-007 Tassametri	In corso di pubblicazione la revisione della OIML R21.	– garantita solo in maniera indiretta; – EMP in verifica MID congruenti ed adeguati	– mancanza di specifici banchi di verifica – automazione e sperimentazione della procedura di verifica

Tabella 9.1. – Norme, Riferibilità Metrologica e Criticità riscontrate per le categorie di strumenti analizzate

Tra le criticità maggiori sicuramente, ad oggi, si riscontra la mancanza di Organismi Notificati nazionali. Si può facilmente constatare [12] che numerosi Istituti ed Organizzazioni a vario titolo in Europa hanno ottenuto la notificazione da parte dei rispettivi Organismi Governativi ed Autorità Nazionali di Metrologia Legale, che hanno in questo modo offerto alle proprie industrie nazionali l'opportunità di cogliere la reale opportunità di crescita di competitività rappresentata dalla Direttiva.
Tra questi organismi compaiono numerosi Istituti Primari Nazionali (CMI della Repubblica Ceca, NMI olandese, LNE francese, PTB tedesco) ed Autorità Nazionali in Metrologia Legale (Belgio, Norvegia, Polonia, Slovenia, Slovacchia, Gran Bretagna), oltre che il METAS Svizzero che, nell'ambito di un trattato di mutuo riconoscimento, con un inusuale slancio di *europeismo* ha voluto non mancare al tavolo dei principali attori della Metrologia Legale Europea.
In questo panorama l'assenza di Organismi Notificati italiani rappresenta, oltre che un pericoloso segnale di debolezza del sistema metrico legale nazionale, un reale ostacolo per l'industria nazionale degli strumenti di misura alla crescita ed alla libera concorrenza sul mercato globale. E questo avviene proprio nel momento in cui si

elevano con forza al rango di strumenti metrico-legali i cosiddetti *utility meters* (contatori di acqua, gas, luce e calore), che rappresentano da soli sul territorio comunitario un mercato potenzialmente enorme e per il quale le regole della sorveglianza in esercizio dovrebbero garantire un ricambio continuo.

La riferibilità metrologica, aspetto fondamentale per garantire la conformità ai requisiti essenziali della Direttiva, è garantita in Italia da parte della rete dei Centri SIT in maniera solo parziale sulle 10 categorie di strumenti, come descritto nella successiva tabella 9.2:

Strumento di Misura	**Centri SIT**
MI-001 Contatori di acqua	1 – settore *Volume*
MI-002 Contatori del gas	Nessuno
MI-002 Dispositivi di conversione del volume	Nessuno
MI-003 Contatori di energia elettrica attiva	Nessuno
MI-004 Contatori di calore	Nessuno
MI-005 Sistemi di misura per la mis. continua e din.di liquidi diversi dall'acqua	4 – settore *Volume*
MI-006 – II Selezionatrici Ponderali	19 - settore *Massa*, di cui 4 sulle bilance di elevata portata (fino a 100.000 kg)
MI-006 – III Riempitrici Gravimetriche Automatiche	
MI-006 –IV Totalizzatori a funzionamento discontinuo	
MI-006 – V Totalizzatori a funzionamento continuo	
MI-006 – VI Pese a Ponte per Veicoli Ferroviari	
MI-007 Tassametri	Nessuno
MI-008 – I Misure materializzate di lunghezza	39 - settore *Lunghezza*
MI-008 – II Misure materializzate di capacità	2 – settore *Volume*
MI-009 – I Strumenti per la misura della dimensione (lunghezza)	39 - settore *Lunghezza*
MI-009 – II Strumenti per la misura della dimensione (superficie)	
MI-009 – III Strumenti per la misura della dimensione (multidimensionali)	
MI-010 Analizzatori di gas di scarico	4 – settore *Quantità di Sostanza*

Tabella 9.2. – Centri SIT operanti nei settori di riferimento (o affini) delle 10 categorie di strumenti MID

La situazione descritta in tabella da un lato evidenzia alcune aree metrologiche in cui oggi a livello nazionale non è strettamente garantita la riferibilità ai campioni SI, dall'altro ha comunque un immediato riscontro nella presenza di elevata competenza

tecnica sul territorio (laboratori SINAL e SIT, Enti di Ricerca, Università e Parchi Scientifici) e presso gli Istituti Primari (INRIM e ENEA), anche se non sempre in maniera diretta sulla categoria di strumento MID ma in settori affini (es. metrologia della temperatura e del volume per i contatori di calore).

In questo ambito un possibile miglioramento potrà essere garantito anche attraverso l'applicazione più snella degli schemi dell'accreditamento *flessibile* già oggi previsto dal SIT [5] e nella progressiva estensione degli accreditamenti SINAL [4] dei laboratori coinvolti nei processi di dichiarazione della conformità. In nessun caso, comunque, si potrà prescindere dall'effettuare le prove richieste dal piano di qualifica presso laboratori accreditati secondo la ISO 17025 [11].

A tale proposito un segnale di positiva vitalità del sistema è dato dal recente accreditamento SIT dei due Uffici Provinciali Metrici delle CCIAA di Asti (contatori di acqua) e Catanzaro (masse e bilance).

E' infine opportuno esporre qualche spunto di riflessione su alcune prospettive aperte dal nuovo scenario determinato dalla Direttiva MID:

- è sempre più urgente attuare la regolamentazione introdotta dalle legge 236/91 sulla validità temporale dei bolli metrici,
- l'applicazione delle regole MID a tassametri ed ad analizzatori di gas inquinanti può e deve essere fatta lasciando le competenze di verifica e controllo agli Enti Locali, supportando però le validazioni e le riferibilità necessarie con un sistema di laboratori terzi accreditati o universitari e/o di ricerca che realizzino e disseminino le rispettive catene di riferibilità.
- aver elevato al rango di strumento legale il contatore dell'acqua, se da un lato è la ovvia conseguenza della gestione aziendale della risorsa acqua, non più bene sociale ma servizio, dall'altro delega ad uno strumento molto povero in contenuti tecnologici, quale l'attuale contatore, un ruolo troppo delicato.

A tale riguardo, infatti, con un parco contatori di acqua installati di 28-30 milioni di pezzi, la maggior parte obsoleti ed usurati, e con la quasi certezza che per gli attuali modelli sul mercato la vita media stimata (numero di anni in cui le fasce prestazionali MID sono garantite) è di soli 6 anni (così come ampiamente dimostrato

dalle prove realizzate nel Centro SIT della CCIAA di Asti), va assolutamente fatto uno sforzo di innovazione delle tecnologie, che da un lato garantisca un allungamento dei tempi di funzionamento dei contatori e dall'altro consenta una maggiore certezza ed affidabilità dei dati di misura nel tempo,.

Quanto detto vale per la contabilizzazione dell'acqua, ma può essere esteso, con le relative proporzioni anche alla contabilizzazione di gas, all'elettricità ed al calore, definendo opportunamente regole chiare per la sorveglianza in servizio [13].

In questo panorama, le tecnologie informatiche possono facilmente migliorare ed armonizzare le interazioni dei principali processi della Metrologia Legale a vantaggio degli attori del Sistema (Autorità Nazionale, Uffici Metrici Provinciali, Ispettori ed Assistenti, Utenti e Fabbricanti Metrici, Consumatori, Laboratori Riconosciuti), armonizzando i campi di intervento di ciascuno, in conformità con i rispettivi ruoli istituzionali e con l'obiettivo di aumentare efficienza ed efficacia dei processi della metrologia legale.

10. Bibliografia

[1] Direttiva 2004/22/EC del parlamento Europeo e del Consiglio del 31 Marzo 2004 sugli Strumenti di Misura (Direttiva MID)

[2] DL n. 22 del 2 febbraio 2007 "*Attuazione della direttiva 2004/22/CE relativa agli strumenti di misura*" (pubblicato sulla GU n. 64 del 17-3-2007- Suppl. Ordinario n. 73

[3] http://www.oiml.org

[4] http://www.sinal.it

[5] http://www.sit-italia.it

[6] http://www.european-accreditation.org

[7] H.Stolz "*PTB Procedure QM – MID Approval*" 08/2007

[8] http://www.welmec.org

[9] UNI CEI EN 45011:1999 *Requisiti generali relativi agli organismi che gestiscono sistemi di certificazione di prodotti*

[10] UNI EN ISO 9001:2000 *Sistemi di gestione per la qualità - Requisiti*

[11] UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2005, *Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura*

[12] http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando/

[13] Committee Draft (CD 2) OIML TC 3/SC 4, 2005 "*Surveillance of utility meters in service on the basis of sampling inspections*"

[14] DL 28 marzo 2000, n.179 *Regolamento recante norme di attuazione della legge 29 luglio 1991, n. 236, in materia di pesi e misure*. (GU n. 153 del 3-7-2000)

[15] DL 28 marzo 2000, n.182 *Regolamento recante modifica ed integrazione della disciplina della verificazione periodica degli strumenti metrici in materia di commercio e di camere di commercio*. (GU n. 154 del 4-7-2000)

[16] R.A.Dudley "*Internet Calibration" Handbook of Measuring System Design*, 2005 (NPL – UK)

[17] M.Desrosiers et a. "*e-Calibrations: using the internet to deliver calibration services in real time at lower cost*" Radiation Physics and Chemistry 63, 2002 759-763

[18] http://www.antennametrologica.it

[19] M.Dell'Isola, M. Diritti, G.Ficco, M. Mosca "*Il progetto Antenna Metrologica*", SINERGY 2003, Rimini, 5-8 novembre 2003, EIDOS, num.01/04, pp. 67-70, 2004

[19b] G.Bongiovanni, G.Ficco, G.Molinar, P. Vigo *Il nuovo approccio della Direttiva MID sugli Strumenti di Misura e l'ICT al servizio della Metrologia Legale*" in Atti del Convegno Metrologia & Qualità, 2007, Torino, 14-16 marzo 2007

[20] Direttiva del Consiglio CEE n. 71/318 del 26 luglio 1971 *concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli stati membri relativa ai contatori di volume di gas*.

[21] D.M. 31 Luglio 1952, n. 324138 *Campana Gasometrica tipo Kromshroder*

[22] D.M. 13 Agosto 1956, n. 207834 *Campana Gasometrica tipo Kromshroder*

[23] Legge 29 luglio 1991, n.236 *Modifica alle disposizioni del testo unico delle leggi sui pesi e sulle misure, approvato con regio decreto 23 agosto 1890, n. 7088, e successive modificazioni*

[24] F. Vulovic, *Etalonnage et vèrification des compteurs de volume de gaz*, Techniques de l'Ingénieur, R 2000

[25] UNI CIG 7987:1979 *Contatori di gas: Termini e definizioni*,

[26] UNI-CIG 7988:1986 *Contatori di gas: Prescrizioni di sicurezza e metrologiche*),

[27] Norma UNI-CIG 7988:1990 *Errata Corrige*,

[28] UNI-EN 1359:1998 / A1:2006 *Misuratori di gas a membrana*

[29] EN 60751:1996 *Industrial platinum resistance thermometer sensors*

[30] Regio Decreto 12 Giugno 1902, n. 226, art. n. 41 *Apparecchi per la verificazione dei misuratori del gas*

[31] P. Giacomo, 1982 Metrologia 18 33-40 - *Equation for the Determination of the Density of Moist Air*

[32] S. Davis, Documento BIPM - *Updating the Formula for the Equation of state of moist air*, 1981/91, Metrologia Vol 29 pp. 67-70, 1992

[33] EA-4/02:1999 *Expressions of the Uncertainty of Measurements in Calibration*

[34] UNI CEI ENV 13005:2000 *Guida all'espressione dell'incertezza di misura*

[35] G. Bucci, C. Liguori: "*Energy and power measurement*", Wiley & Son. Enciclopedia Interattiva MeasureMentor Giugno 2004

[37] G.N.Stenbakken, T.L. Nelson, T.L. Waltrip, D.I. Bergman "*NIST program for traceable power and energy measurements under non-sinusoidal waveform conditions"* Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE , Volume: 1 , 13-17 July 2003 pp 96-97 Vol. 1

[36] P.N. Miljanic "*Power and energy meters and their calibration*" Precision Electromagnetic Measurements, 1994. Digest., 1994 Conference on , 27 June-1 July 1994 pp 235-237

[37] G.Betta, M.Dell'Isola, A.Frattolillo, "*Experimental design techniques for optimising measurement chain calibration*", Measurement(2001)

[38] M.Dentice d'Accadia, M.Sasso, S.Sibillio, R.Vanoli, "*Applicazioni di energetica*"(1999)

[39] UNI EN 1434-1:2007 "*Contatori di calore*"

[40] OIML R75-1:2002 "*Heat meters*"

[41] ISO 5167:2000 "*Misurazione della portata dei fluidi per mezzo di dispositivi a pressione differenziale. Diaframmi, boccagli e venturimetri inseriti in condotti chiusi a sezione circolare*"

[42] ISO 9951:1993 "*Measurement of gas flow in closed conduits - Turbine meters*"

[43] OIML R120:1996, *Standard capacity measures for testing measuring systems for liquids other than water*,

[44] OIML R 117:1995, *Measuring systems for liquids other than water*,
[45] AAVV, Measurement Canada, *Calibration and Certification of Volumetric Standards*, 2005
[46] Regio decreto n. 7088, *Approvazione del testo unico delle leggi sui pesi e sulle misure nel Regno d'Italia* n. 6991, 23 agosto 1890.
[47] Regio decreto n. 226, *Regolamento per la fabbricazione di strumenti metrici*, 1902
[48] D.P.R. 12 novembre 1958 n. 1215, *Modificazioni e aggiunte al regolamento per la fabbricazione dei pesi e delle misure e degli strumenti per pesare e per misurare*,
[49] M.Dell'Isola, A.Frattolillo, P.Vigo, G.Ardimento, R. Gaudiosi, *Problematiche di verifica dei contatori di volume per liquidi diversi dall'acqua*, in 56° Congresso Nazionale ATI, 2001
[50] SIT/Tec-004/03:2004 *Linea guida per la taratura del valore convenzionale di massa dei corpi fisici*,
[51] OIML R111-1:2004 *Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1–2, M2, M2–3 and M3 Part 1: Metrological and technical requirements*,
[52] C. Lachance, *Gravimetric Calibration of Volumetric Standards*, Measurement Canada Vol.T.P. 003, 1999
[53] www.mid-procedures.org;
[54] F.Angrilli, S.Debei, R.Brancati, F.Crenna, G.Ficco, M. Panero, R. Russo *Verso l'Attuazione della Direttiva Strumenti di Misura della Comunità Europea: una Procedura di Prova per la Verifica di Conformità dei Tassametri*, in Atti del Convegno Metrologia & Qualità, 2007, Torino, 14-16 marzo 2007
[55] OIML R 21: 1973 – *Taximeters*